

Schlussbericht des Verbundes

- öffentlich einsehbar -

Airborne tRaffiC AcciDent Identification – PoC Analysis (ARCADIA)

Luftunterstützte Verkehrsunfall-Identifikation – Machbarkeits-Analyse

Wenn zur Wahrung berechtigter Interessen des Zuwendungsempfängers (ZE) oder Dritter oder aus anderen sachlichen Gesichtspunkten bestimmte Einzelheiten aus dem Bericht vertraulich zu behandeln sind (z. B. Wahrung der Priorität bei Schutzrechtsanmeldungen), so hat der ZE den Zuwendungsgeber (ZG) ausdrücklich darauf hinzuweisen.

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI	Förderkennzeichen: 01MM20009A
Kontakt Konsortialführer: Dr.-Ing. Christian T. Erbsmehl Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI Zeunerstr. 38, 01069 Dresden	Tel.: +49 351 4640 611 E-mail: christian.thomas.erbsmehl@ivi.fraunhofer.de
Laufzeit des Vorhabens: von: 02/2021 bis: 07/2021	
Datum Bericht: 30.09.2021	

Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	6
1. Kurzdarstellung.....	7
1.1. Aufgabenstellung.....	7
Ziele	10
Lösungsansatz.....	11
1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	12
Voraussetzungen für die Auswahl eines geeigneten Unfallschwerpunktes	12
Voraussetzungen für den Aufstieg einer Drohne.....	14
Voraussetzungen für den Überflug durch ein Leichtflugzeug.....	14
1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens	15
1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	21
Kamerasysteme	21
Kamerabefestigungssysteme	22
Kamerasensoren mit Rolling Shutter und Global Shutter	22
Zweidimensionale, bodengestützte Detektion und Erfassung von Verkehrsszenarien – Methode AIMATS	22
Luftgestützte Detektion und Erfassung von Verkehrsszenarien – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).....	23
Luftgestützte Detektion und Erfassung von Verkehrsszenarien – fka GmbH	23
Fazit Wissenschaftlicher und technischer Stand	24
Georeferenzierung von Luftbildern.....	24
Objekterkennung und -verfolgung	25
Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden.....	26
Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste.....	26
1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	27
2. Eingehende Darstellung	27
2.1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele.....	27
2.1.1 Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	27
2.1.2 Vorbereitung der aufgenommenen Daten.....	28
2.1.3 Beschreibung der Umsetzung.....	29
2.1.4 Erzielte Ergebnisse.....	32

Auswertung der Videoaufnahmen des Flugzeuges	32
Auswertung der Drohnenaufnahmen	36
Vergleich der Videoaufnahmen von Drohne und Flugzeug	40
Fazit	41
2.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	41
2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	42
2.4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans.....	43
2.5. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	44
2.6. Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses.....	44
Literaturverzeichnis.....	44

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Anteil der neuen Verkehrsteilnehmerarten E-Bike, E-Scooter und Pedelec am Unfallgeschehen.....	8
Abbildung 1-2: Verteilung der Verletzungsart nach Verkehrsteilnehmerart	9
Abbildung 1-3: Beispiel für aus Videodaten extrahierte Fahrtrichtungen der Verkehrsteilnehmer (eigene Abbildung Fraunhofer IVI).....	11
Abbildung 1-4: Luftaufnahme des Strehleener Platz, Screenshot aus Google Earth	13
Abbildung 1-5: ausgewählter Unfallschwerpunkt Knotenpunkt Wiener Straße/Gerhart-Hauptmann-Straße	13
Abbildung 1-6: Kontrollzone um den Flughafen Dresden [6]	14
Abbildung 1-7: Ausführlicher Arbeits-, Zeit- und Kostenplan.....	15
Abbildung 1-8: Cessna 172N Skyhawk.....	16
Abbildung 1-9: DJI P4P Plus V2.0	16
Abbildung 1-10: Befestigung einer Kamera am Leichtflugzeug.....	17
Abbildung 1-11: Drohne und Leichtflugzeug	17
Abbildung 1-12: Flugroute von Flug 1 der Cessna, Screenshot in Google Earth	18
Abbildung 1-13: Ausschnitt der Trajektorien oberhalb des betrachteten Unfallschwerpunktes	19
Abbildung 1-14: Höhen- und Geschwindigkeitsprofil von Flug 1 der Cessna.....	19
Abbildung 1-15: Flugroute von Flug 2 der Cessna, Screenshot in Google Earth	20
Abbildung 1-16: Höhen- und Geschwindigkeitsprofil von Flug 2 der Cessna.....	20
Abbildung 1-17: Position der Drohne mit Koordinaten, Screenshot in Google Earth	21
Abbildung 1-18: Akkuladestation DJI.....	21
Abbildung 2-1: Berechnetes Hintergrundbild (links) und Einzelbild vom Strehleener Platz (rechts)..	30
Abbildung 2-2: Grauwertistogramm der Differenzbilder	30
Abbildung 2-3: Maskiertes Differenzbild zwischen zwei Frames	31
Abbildung 2-4: Ergebnis der Blobanalyse aller Bilder (links) und aus sich überlappenden Blobs extrahierte Linien (rechts).....	32
Abbildung 2-5: Ergebnis der Objektverfolgung durch Verbinden von detektierten Blobs	32
Abbildung 2-6: Screenshot aus Sequenz 1 des Videofile DJI_0238_001.MP4 mit Radfahrer	33
Abbildung 2-7: Radfahrer aus mehr als 700 m Höhe.....	34
Abbildung 2-8: Screenshot des ersten analysierten Videos mit hervorgehobenen Radfahrern.....	35
Abbildung 2-9: nicht identifizierbares Zweirad aus mehr als 700 m Höhe.....	35
Abbildung 2-10: Beispielbild der analysierten Drohnenaufnahmen	37
Abbildung 2-11: Abbiegender Radfahrer der ID 43 in Video 1	38
Abbildung 2-12: Erfasste E-Roller, Beispielbild.....	38
Abbildung 2-13: Herausforderung der Objekterkennung bei Sichthindernissen, Beispielbild.....	39
Abbildung 2-14: Herausforderung dicht aneinander befindlicher Fußgänger, Beispielbild.....	39

Abbildung 2-15: Fußgängererkennung endet auf Straße, Beispielbild..... 40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1:	Erläuterung der Meilensteine	15
Tabelle 1-2:	Verfahren zur Georeferenzierung.....	24
Tabelle 1-3:	Verfahren zur Objekterkennung und -verfolgung.....	25
Tabelle 2-1:	Verwendung – AP1.....	27
Tabelle 2-2:	Verwendung – AP2.....	28
Tabelle 2-3:	Flugsequenzen über den Unfallschwerpunkten	29
Tabelle 2-4:	beispielhafte Auswertungen der DJI Osmo Action	36
Tabelle 2-5:	beispielhafte Auswertungen der GoPro9.....	36
Tabelle 2-6:	beispielhaft aufgeführte Zeitspannen [s] erfasster Objekte aus Video 1 mit Mittelwert	37
Tabelle 2-7:	Unterschiede zwischen Erst- und Detailanalyse bzgl. der Anzahl erfasster Objekte	40
Tabelle 2-8:	zahlenmäßiger Nachweis	42
Tabelle 2-9:	Verwertung	43

1. Kurzdarstellung

Das Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme (IVI) hat mit dem Projekt ARCADIA das grundlegende Ziel verfolgt, einen Beitrag zur Erhöhung der Straßenverkehrssicherheit zu leisten. Das Projekt ARCADIA folgte dabei dem Leitgedanken der Initiative „Vision Zero – Null Tote im Straßenverkehr“ [1]. Dabei wird das übergeordnete Ziel angestrebt, die Zahl der Getöteten und Schwerverletzten im Straßenverkehr auf das absolute Minimum zu reduzieren. Das Projekt ARCADIA legt seinen Fokus dabei besonders auf die Erhöhung der Verkehrssicherheit für die Gruppe der VRU (Vulnerable Road Users, schwächere Verkehrsteilnehmer) wie Fußgänger und Radfahrer. Aber auch die neueren Verkehrsteilnehmerarten wie Pedelec, E-Bike oder E-Scooter sollten während der Projektbearbeitung besondere Beachtung erfahren.

ARCADIA hat mit seinen Projektergebnissen des Weiteren auch den aktuellen Entwicklungen im Bereich der Automatisierung des Straßenverkehrs Rechnung getragen. Die gewonnenen Projektergebnisse bilden somit die datenbasierte Voraussetzung für die Bewertung der Funktionalität automatisierter Fahrfunktionen und trägt somit zur Nachhaltigkeit der aktuellen Entwicklungen im Mobilitätssystem bei.

1.1. Aufgabenstellung

Im Bereich der Straßenverkehrssicherheit treffen aktuell mehrere Herausforderungen aufeinander. Zum einen wird der Straßenverkehr stetig dichter und unübersichtlicher. Gleichzeitig steigen die Nutzungsansprüche an die Straße besonders im urbanen Raum. Dabei nimmt vor allem der Anteil der VRU zu. Zu diesen zählen neben Fußgängern und Radfahrern auch die aktuell stark im Trend liegenden Verkehrsteilnehmer der motorisierten Zweiräder und Kleinfahrzeuge wie Pedelec, E-Bike oder E-Scooter.

Vor allem die Fahrer von E-Bikes, E-Scootern und Pedelecs werden aufgrund ihrer Geschwindigkeit und geringen Silhouette von anderen Verkehrsteilnehmern in ihrem Verhalten oft zu spät. Darüber hinaus schätzen VRU selbst auch oft ihr Fahrkönnen falsch ein. Beispielhaft sind hier ältere Verkehrsteilnehmer zu nennen, welche häufig nicht als Radfahrer sondern als Neueinsteiger auf das Pedelec umsteigen und sich mit einem hochdynamischen E-Bike oder Pedelec in vielen Fällen ohne Helmschutz im Verkehrsraum fortbewegen. Diese Situation führt zu einer deutlichen Erhöhung der Unfallzahlen, einer noch stärkeren Erhöhung von kritischen Situationen zwischen verschiedenen Verkehrsteilnehmern sowie einer höheren Mortalität. Dieser Trend ist verstärkt bei der Beteiligung der neuen motorisierten Zweiräder und Kleinfahrzeuge zu beobachten. So zeigt die nachfolgende Abbildung 1-1 den seit dem Jahr 2015 stark ansteigenden Anteil von E-Bikes, E-Scootern und Pedelecs am Unfallgeschehen.

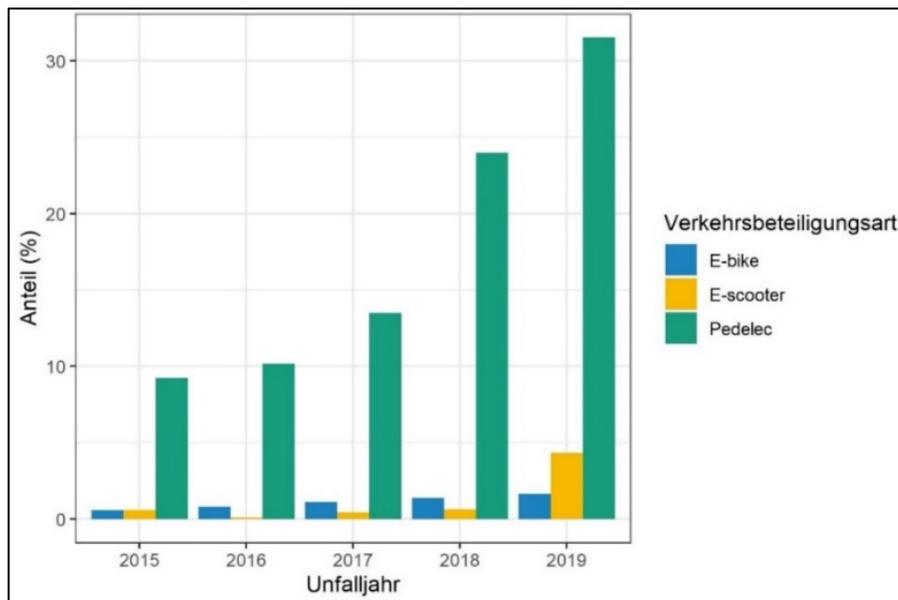


Abbildung 1-1: Anteil der neuen Verkehrsteilnehmerarten E-Bike, E-Scooter und Pedelec am Unfallgeschehen¹

Als weitere aktuelle Herausforderung ist eine Zunahme der Automatisierung im Straßenverkehr zu beobachten, beispielsweise durch den zunehmenden Einsatz von Assistenzsystemen in Fahrzeugen. Dabei steigt die Automatisierung vor allem bei motorisierten Verkehrsteilnehmern wie PKW und LKW. Bei den schwächeren Verkehrsteilnehmern ist hingegen keine oder nur eine geringe Automatisierung zu erwarten.

Die schwächeren Verkehrsteilnehmer verletzen sich jedoch häufiger und schwerer im Straßenverkehr als Fahrer von PKW oder LKW, da sie selbst keine schützende Hülle haben und Assistenzsysteme nicht oder nur in geringem Umfang nutzen. Schwächere Verkehrsteilnehmer müssen demzufolge als besonders schützenswert begriffen werden. So verdeutlicht die nachfolgende Abbildung 1-2 anschaulich, wie unterschiedlich stark sich verschiedene Verkehrsteilnehmerarten in den Jahren 2017 bis 2019 in Brandenburg, Sachsen und Bremen verletzt.

¹ EUSKa-Unfalldaten für Sachsen, Brandenburg und Bremen, Zeitraum 2015-2019, Datenumfang von N=2.065

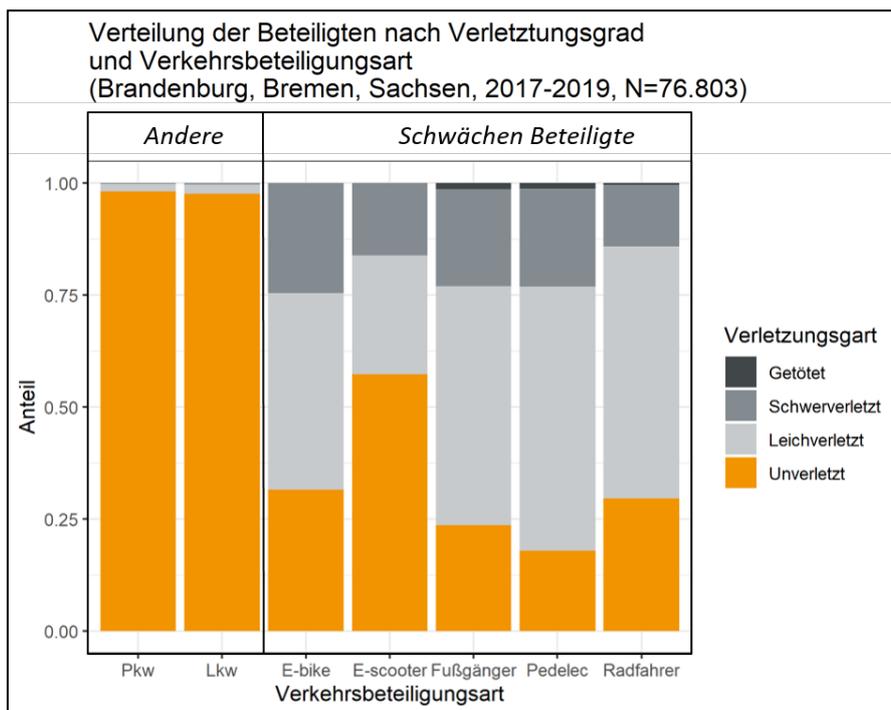


Abbildung 1-2: Verteilung der Verletzungsart nach Verkehrsteilnehmerart²

Die Entwicklung von Assistenzsystemen verfolgt daher auch den Zweck, die besonders gefährdete Gruppe der schwächeren Verkehrsteilnehmer besser zu schützen.

Um den Nutzen und die Anwendbarkeit eines neu entwickelten Assistenzsystems in einem Fahrzeug zu überprüfen und zu validieren, bedarf es umfangreicher Tests. Diese Tests müssen in Zukunft zum einen aus Sicherheits- und zum anderen aus Kostengründen in virtuellen Simulationsumgebungen durchgeführt werden. Dadurch ist es auch möglich, mehr Variabilität in die Simulationen zu bringen und eine größere Menge potenzieller Verkehrsszenarien abzudecken. So wird beispielsweise die europaweit führende Testorganisation *EuroNCAP* (European New Car Assessment Programme) das virtuelle Testen von Fahrerassistenzsystemen zukünftig in ihr Bewertungsverfahren für Neufahrzeuge aufnehmen [2]. Momentan erfolgen solche Tests noch mit realen Fahrzeugen [3].

Um eine zukünftige Simulationsumgebung für die Erprobung von Assistenzsystemen qualitativ ausreichend zu modellieren, benötigt man Informationen zum realen Verkehrsgeschehen. Dabei wird es nicht ausreichen, nur die im verunfallten oder am Unfall beteiligten Fahrzeug eingebaute Sensorik auszuwerten. Das tatsächliche Verhalten der Verkehrsteilnehmer in realen Situationen im Straßenverkehr ist die Grundlage für die Entwicklung von Simulationen. Dies trifft vor allem für den Zeitpunkt vor, während und nach kritischen Situationen oder Unfällen im Straßenverkehr zu. Solche Informationen zum realen Verkehrsgeschehen stehen heute nicht oder nur spärlich zur Verfügung. Die für die Erstellung von Simulationsumgebungen benötigten Eingangsparameter, insbesondere für das Verkehrsverhalten von VRU, sind oft in nicht ausreichender qualitativer und quantitativer Menge vorhanden. An dieser Stelle setzte das Projekt ARCADIA an.

² EUSKa-Unfalldaten für Sachsen, Brandenburg und Bremen, Zeitraum 2017-2019, Datenumfang von N=76.803

- Erstens **schloss es die Lücke, luftgestützt reale Unfälle insbesondere von VRU zu erheben.** Dabei kamen verschiedene Luftfahrzeugtypen und Kamerasysteme zum Einsatz und verbanden die Vorteile verschiedener Datenerhebungsmöglichkeiten.
- Zweitens wurden die **geräte- und softwaretechnischen Voraussetzungen** geschaffen, um zukünftig **aus luftgestützt erhobenen realen Verkehrsdaten** mit einem hohen Grad der Automatisierung **Szenarien** zum Testen von Assistenzsystemen **zu generieren.**

ARCADIA leistete somit in der Vorstufe einen Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit, vor allem für VRU.

Ziele

Ziel von ARCADIA war es, Beobachtungsdaten zu realen Verkehrs- und Unfallsituationen aus der Luft zu erfassen, zu analysieren und zu bewerten. Dazu sollten mithilfe der Projektergebnisse von ARCADIA genügend Informationen zum realen Verkehrs- und Unfallgeschehen an einem ausgewählten Unfallschwerpunkt erfasst werden. Damit konnten Eingangsparameter, wie Trajektorien, lateralen und radialen Geschwindigkeiten oder Kurvenradienfahrverhalten, erzeugt werden für die zukünftige Parametrisierung von virtuellen Szenarien, welche wiederum zum Testen von Assistenzsystemen dienen. Dieses Ziel wurde bis zum Projektabschluss dieser Machbarkeitsstudie erreicht. Der Schwerpunkt lag dabei auf Assistenzsystemen, die VRU in besonderem Maße schützen.

Das **Ziel** der Projektumsetzung bestand darin, die **Voraussetzungen einer ganzheitlichen Verkehrs- und Unfallbeobachtung aus der Luft** zu schaffen. Dieses Ziel sollte ebenfalls bis Ende der Projektlaufzeit dieser Machbarkeitsstudie erreicht werden. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden verschiedene Luftfahrzeugtypen mit mobilen Kamerasystemen ausgerüstet. Die ganzheitliche Verkehrsbeobachtung aus der Luft umfasste neben realen Unfällen im Straßenverkehr auch das Verkehrsaufkommen und Verkehrsverhalten vor, während und nach dem Zeitpunkt des Unfallgeschehens. Diese Informationen fehlen bisher oft, um synthetische Trajektorien in virtuellen Testumgebungen für Assistenzsysteme und Unfallsimulationen in guter Qualität in Szenarien umsetzen zu können.

Weiterhin können dadurch Knotenpunktströme erfasst werden. Im folgenden Beispiel (nachfolgende Abbildung 1-2) sind die Spuraufteilung an einem Knotenpunkt dargestellt. Aus den Informationen zur Befahrung und der Fahrtrichtung der einzelnen Verkehrsteilnehmer kann anhand der luftgestützten Erhebung auf die Abbiegerelation geschlossen werden.

Die verschiedenen Farben in Abbildung 1-3 repräsentieren die unterschiedlichen Fahrtrichtungen auf den detektierten Fahrstreifen. Die grüne Fläche stellt einen Radweg dar. Rote Flächen sind nicht befahrbare Fahrstreifen. Blaue Flächen stellen bevorrechtigte Fahrstreifen dar, wobei dunkelblau Flächen Fahrstreifen repräsentieren, die nur aus südlicher Richtung befahrbar sind; hellblaue Flächen repräsentieren wiederum nur aus nördlicher Richtung befahrbare Flächen. Analog stellen lila gefärbte Flächen untergeordnete Fahrstreifen dar, wobei in dunkellila gehaltene Flächen nur in östliche Richtung befahren werden können und Flächen in hell-lila nur in westliche Richtung. Aus der sequenziellen Befahrung eines Verkehrsteilnehmers einzelner Fahrstreifen ergeben sich abschließend die Abbiegerelationen.



Abbildung 1-3: Beispiel für aus Videodaten extrahierte Fahrrichtungen der Verkehrsteilnehmer (eigene Abbildung Fraunhofer IVI)

Ein weiteres Ziel war zudem, mithilfe der gewonnenen Projektergebnisse die Analyse der aufgenommenen Videodaten und die Extraktion von **realen Unfällen sowie weiteren Umgebungsparametern** in einer **ersten Automatisierungspipeline** umzusetzen, sodass in einem **Folgeantrag** mit Big-Data-Ansätzen und mit Hilfe von maschinellem Lernen **zukünftig automatisiert** Szenarien erhoben, gefiltert, auf Relevanz geprüft und gespeichert werden können. So sollte ein effizientes Werkzeug zur zukünftigen Rekonstruktion von Straßenverkehrsunfällen geschaffen werden. Dieses Ziel soll in einem möglichen Folgeantrag mit einem breiter aufgestellten Projektkonsortium, bestehend aus Partnern der Industrie, erreicht werden.

Lösungsansatz

Im Rahmen von ARCADIA wurde die technische Basis für die Durchführung einer ganzheitlichen Verkehrs- und Unfallbeobachtung geschaffen. Dabei sollte eruiert werden, inwieweit eine ganzheitliche Parametrisierung realer Unfälle inklusive der relevanten Umgebungsparameter zukünftig erfolgen kann. Dazu zählten z. B. das Verkehrsaufkommen oder Verkehrsverhalten zum Unfallzeitpunkt. Damit könnten relevante Informationen für die Parametrisierung von Szenarien gewonnen werden. Diese könnten wiederum zum Testen und Anlernen neuer Assistenzsysteme dienen.

Dazu wurden in dem Projekt ARCADIA zwei verschiedene Luftfahrzeuge (Leichtflugzeug und Drohne) mit mobilen Kamerasystemen ausgerüstet. Die ausgewählten mobilen Kamerasysteme waren dazu geeignet, Objekte aus großer Höhe zu erfassen und die am Luftfahrzeug (LFZ) auftretenden Rotationen auszugleichen. Die beteiligten LFZ wurden im Rahmen von ARCADIA an zwei ausgewählten Unfallschwerpunkten eingesetzt. Die generierten Datenmengen vom Fraunhofer IVI sowie der Airclip Service GmbH & Co KG wurden gesichtet und bewertet. Diese Art der Verkehrsbeobachtung aus der Luft hatte den Vorteil, dass das ganzheitliche Verkehrs- und Unfallgeschehen über einen großen und zeitlich längeren Videoausschnitt erfasst werden konnte. Damit wurde vor allem die für die Erklärung der Unfallentstehung wichtige Vorphase vor einem Unfall erfasst. Dies war mit bisherigen bodengestützten und stationären Methoden der Verkehrsbeobachtung nicht möglich [4][5]. Der aufgenommene Bildbereich in den genannten Methoden war dabei nur auf einen kleinen Ausschnitt begrenzt.

Bereits vor Auswertung der generierten Videodaten war es möglich, besonders auffällige Unfallschwerpunkte im Straßennetz anhand polizeilicher Unfalldaten zu lokalisieren, welche eine hohe Wahrscheinlichkeit zur Aufnahme eines Unfalls besitzen. Das Fraunhofer IVI griff dabei auf die institutsintern vorliegende umfangreiche Datenbank an polizeilich erfassten Straßenverkehrsunfalldaten (EUSKa-Format³) zurück. Die gesammelten Unfalldaten wurden hinsichtlich potenzieller Unfallschwerpunkte von VRU im Dresdner Stadtgebiet durchsucht und gefiltert. Für die Durchführung der wissenschaftlichen Studie im Rahmen von ARCADIA wurden zwei Unfallschwerpunkte auf Grundlage der durchgeführten Unfalldatenanalyse ausgewählt. An diesen fanden vorab genehmigte Befliegungen mit den eingesetzten LFZ statt. Die gewonnenen Videodateien wurden anschließend analysiert. Dabei erfolgte eine Prüfung, ob das Verhalten der beteiligten Verkehrsteilnehmer aus den realen Verkehrsbeobachtungsdaten abgeleitet werden kann. ARCADIA prüfte die technische Umsetzbarkeit der Verkehrsbeobachtung aus der Luft und die Qualität der erhobenen Videodaten. Im Projekt wurden des Weiteren die technischen Voraussetzungen geschaffen, zukünftig flächendeckende Befliegungen von Unfallschwerpunkten im gesamten Bundesgebiet zu realisieren.

Die Projektergebnisse von ARCADIA können in einem Folgeprojekt dazu verwendet werden, das mittelfristige Verhalten der beteiligten Verkehrsteilnehmer vor kritischen Situationen oder Kollisionen zu bestimmen. Dies kann für die Parametrisierung von Unfallsimulationen und -rekonstruktionen, wie bspw. in *PC-Crash*⁴, von Verkehrssimulationen wie bspw. in *SUMO*⁵ oder *PTV VISSIM*⁶ oder von Verkehrs- und Unfallszenarien, wie bspw. in *OpenSCENARIO*⁷, genutzt werden. Langfristig können antrainierte Datensätze generiert werden, die die Entwicklung von Simulationsumgebungen und Szenarien vorantreiben. Aufgrund der Vielzahl an zukünftigen Befliegungen ist davon auszugehen, dass eine große Anzahl an kritischen Situationen und Unfällen dokumentiert und nachfolgend zur Auswertung zu Verfügung gestellt werden können. Allein durch die führende medizinische Flugrettungsgesellschaft sind mehr als 50.000 Befliegungen pro Jahr im gesamten Bundesgebiet – davon ein Großteil in urbanen Räumen - garantiert. Die Gesellschaft hegt großes Interesse an einer Konsortialbeteiligung im Folgeprojekt.

1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Voraussetzungen für die Auswahl eines geeigneten Unfallschwerpunktes

Es wurden zwei Unfallschwerpunkte in direkter Nähe zueinander ausgewählt. Dazu wurden die polizeilichen EUSKa-Unfalldaten für den Zeitraum 2010 bis 2020 für das Dresdner Stadtgebiet nach Unfallschwerpunkten von VRU hin ermittelt. Die ausgewählten Unfallschwerpunkte mussten zusätzliche Randbedingungen erfüllen. So musste die Bedingung erfüllt sein, dass für das Gebiet des Unfallschwerpunktes sowohl für die Drohne als auch für das Leichtflugzeug eine Überfluggenehmigung erteilt werden kann. Zudem darf der Unfallschwerpunkt nicht durch eventuelle Sichtverdeckungen wie Bäume oder hohe Gebäude für die Luftaufnahmen beeinträchtigt sein. Nach Erfüllung dieser genannten Rahmenbedingungen konnten zwei geeignete Unfallschwerpunkte im Dresdner Stadtgebiet für die geplanten Befliegungen ausgewählt werden.

³ EUSKa: Elektronische Unfallsteckkarte

⁴ <http://www.pc-crash.com/>

⁵ <https://sumo.dlr.de/docs/index.html> <http://www.pc-crash.com/>

⁶ <https://www.ptvgroup.com/de/loesungen/produkte/ptv-vissim/>

⁷ <https://www.asam.net/standards/detail/openscenario/>

Den ersten Unfallschwerpunkt stellt der Strehlemer Platz in 01219 Dresden dar. Dieser fünfarmige Knotenpunkt wird von einer Straßenbahnstrecke gequert. Ein Screenshot dieser Kreuzung aus Google Earth ist in nachfolgender Abbildung 1-4 dargestellt.



Abbildung 1-4: Luftaufnahme des Strehlemer Platz, Screenshot aus Google Earth

Den zweiten Unfallschwerpunkt stellt der nebenliegende Knotenpunkt zwischen Wiener Straße und der Gerhart-Hauptmann-Straße dar. Dieser Knotenpunkt wird auch von der Straßenbahn gequert und beinhaltet zwei Radfahrstreifen. Eine Luftaufnahme dieser Kreuzung kann nachfolgender Abbildung 1-5 entnommen werden.



Abbildung 1-5: ausgewählter Unfallschwerpunkt Knotenpunkt Wiener Straße/Gerhart-Hauptmann-Straße

Voraussetzungen für den Aufstieg einer Drohne

Der Start und der Flug einer Drohne über bebautem und bewohntem Stadtgebiet sind mit dem Einholen einer Aufstiegsgenehmigung verbunden. Der Unterauftragnehmer Airclip Service GmbH & Co KG hat diese benötigte Erlaubnis in Vorbereitung auf die geplanten Drohnenaufstiege an dem ausgewählten Knotenpunkt im Dresdner Stadtgebiet mit der zuständigen Luftfahrtbehörde abgestimmt und eingeholt. Mit Umsetzung der neuen EU-Verordnung zu Drohnen, die ab dem 01.01.2021 in Kraft trat, ist das Luftfahrtbundesamt direkt für die Erteilung von Aufstiegsgenehmigungen zuständig.

Die Airclip Service GmbH & Co KG verfügt über interne Werkzeuge, um den Datenschutz unbeteiligter dritter Personen in den aufgenommenen Videodaten zu gewährleisten. Auch sind aufgrund der Videoaufnahme aus der Luft keine Kennzeichen an den aufgenommenen Fahrzeugen erkennbar, wodurch die Aufnahmen anonym erhoben werden können.

Voraussetzungen für den Überflug durch ein Leichtflugzeug

Die Befliegung des Dresdner Stadtgebietes durch ein Leichtflugzeug ist ab einer Mindestflughöhe von 600 m ohne vorherige Genehmigung erlaubt. Da das Stadtgebiet von Dresden zu einem Großteil im Gebiet der Kontrollzone des Dresdner Flughafens liegt, musste der Pilot vor dem Start der Befliegung je nach Lage des gewählten Unfall Schwerpunktes die Erlaubnis zum Durchfliegen der Kontrollzone bei dem Tower des Dresdner Flughafens einholen. In der nachfolgenden Abbildung 1-6 ist die Lage der Kontrollzone um den Dresdner Flughafen als rote Fläche mit blau gestrichelter Umrandung dargestellt.

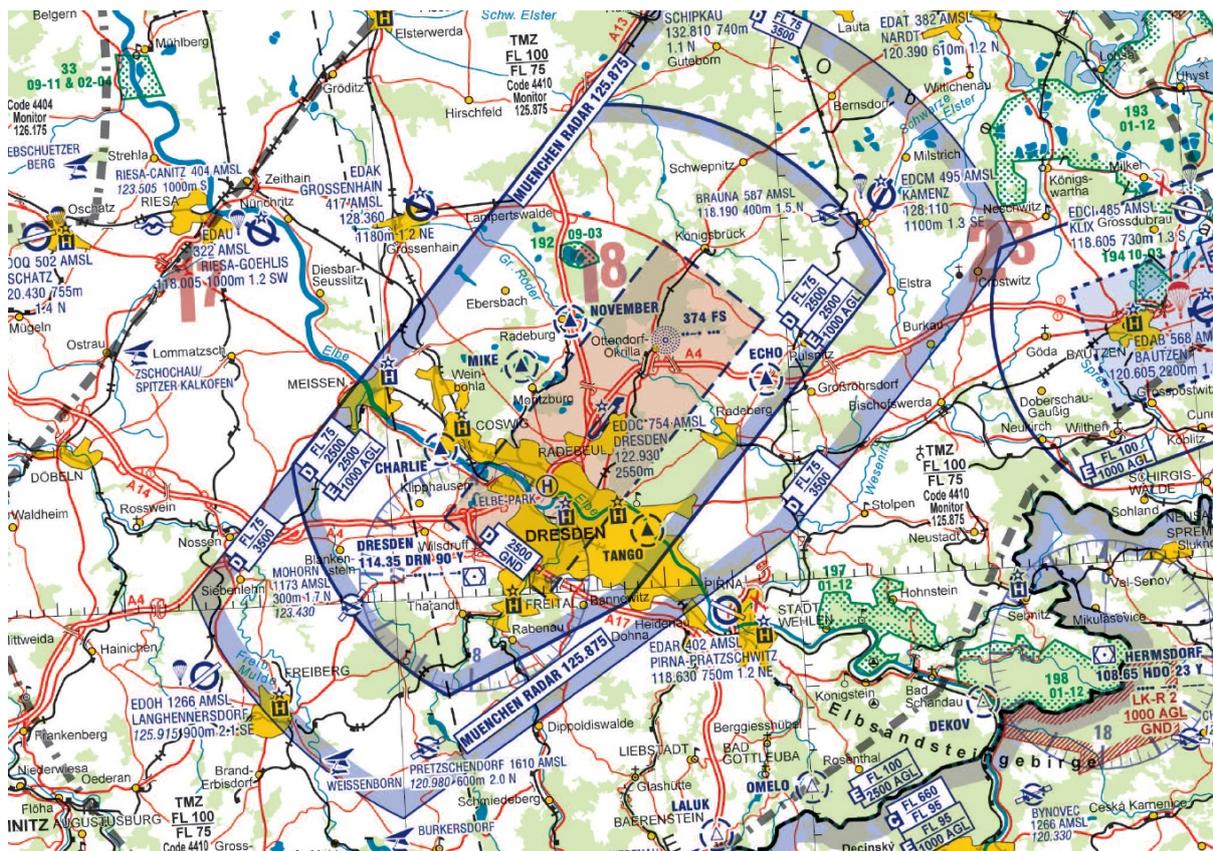


Abbildung 1-6: Kontrollzone um den Flughafen Dresden [6]

1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt ARCADIA hatte eine Laufzeit von 6 Monaten. Die Arbeitsinhalte waren in zwei Arbeitspakete (AP) untergliedert. AP 1 begann im Projektmonat 1 (Februar 2021) und endete nach einer Laufzeit von 3 Monaten mit Ende des Projektmonates 3 (April 2021). AP 2 begann im Projektmonat 4 (Mai 2021) und endete nach einer Laufzeit von 3 Monaten mit Ende des Projektmonates 6 (Juli 2021).

Während der Projektbearbeitung war die Erreichung von 2 Meilensteinen (MS) vorgesehen, welche in nachfolgender Tabelle 1-1 näher erläutert werden.

Tabelle 1-1: Erläuterung der Meilensteine

Meilenstein Nr.	Projektmonat	Ziel
1	3	Der MS 1 wurde nach Abschluss des AP 1 erreicht. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Kamerasysteme an den im Projekt beteiligten LFZ installiert und getestet. Zwei geeignete Unfallschwerpunkte wurden mithilfe der Unfalldatenanalyse ermittelt und mit den beiden LFZ befliegen. Die LFZ konnten während ihrer Überflüge die ausgewählten Unfallschwerpunkte befliegen und Videodaten aufnehmen.
2	6	Der MS 2 wurde mit Abschluss des Projekts erreicht. Zu diesem Zeitpunkt war auch AP 2 abgeschlossen. Die von den beteiligten LFZ erfassten Videodaten wurden ausgewertet. Es wurde analysiert, ob die in den Videodaten generierten Informationen für eine Weiterentwicklung und Erstellung von Szenarien geeignet sind. Es wurde auch geprüft, welches der eingesetzten LFZ die besten Voraussetzungen für einzelne Verkehrsbeobachtungen und Befliegungen von Unfallschwerpunkten aus der Luft besitzt. Die Ergebnisse werden in diesem Abschlussbericht dokumentiert.

Nachfolgend ist zudem der genaue Arbeits-, Zeit- und Kostenplan des Projekts in Abbildung 1-7 dargestellt.

Projektjahr	Leitung	Projektmonat	2021						PM IVI	Personalkosten IVI	Sonstige Kosten IVI
			1	2	3	4	5	6			
Arbeitspakete	IVI	Monat im Jahr	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	3,5	47.623 €	10.000 €
			1	IVI							
2	IVI							AB	6,5	88.963 €	10.000 €
Meilensteine											
1											
2											
* PM = Personenmonate, AB = Abschlussbericht, FQ = Förderquote									Summierung aller Kosten: Fördersumme (FQ 100%) 98.963 €		

Abbildung 1-7: Ausführlicher Arbeits-, Zeit- und Kostenplan

Im Projekt ARCADIA wurden zwei verschiedene LFZ eingesetzt. Im Betrieb waren ein Leichtflugzeug und eine Drohne, welche mit mobilen Kamerasystemen ausgerüstet wurden. In nachfolgender Abbildung 1-8 ist das genutzte Leichtflugzeug vom Modell „Cessna 172N Skyhawk“ abgebildet.



Abbildung 1-8: Cessna 172N Skyhawk

Das verwendete Drohnenmodell war eine DJI P4P Plus V2.0. Dieses ist in nachfolgender Abbildung 1-9 abgebildet.



Abbildung 1-9: DJI P4P Plus V2.0

Am Leichtflugzeug wurden zwei Kameras befestigt, welche aufgrund ihrer hohen Auflösung in der Lage waren, aus großer Höhe Objekte zu erfassen und die am Luftfahrzeug (LFZ) auftretenden Rotationen und Erschütterungen auszugleichen. Die Kameras wurden unterhalb von den Tragflächen des LFZ an den Streben zum Flugzeugrumpf befestigt. Nachfolgende Abbildung 1-10 zeigt die Befestigung sowie die Ausrichtung einer der beiden Kameras an der Cessna.



Abbildung 1-10: Befestigung einer Kamera am Leichtflugzeug

Die Drohne und das Leichtflugzeug haben mehrere Flüge über den ermittelten Unfallschwerpunkten durchgeführt und hierbei Videodaten generiert. Ein vom Boden aufgenommenes Foto der Drohne und der Cessna im Einsatz kann nachfolgender Abbildung 1-11 entnommen werden.



Abbildung 1-11: Drohne und Leichtflugzeug

Die Cessna hat zwei Flüge mit einer Zwischenlandung in Kamenz durchgeführt. Pro Flug wurde die betrachtete Kreuzung mehrfach in verschiedenen Höhen zwischen 400 m und maximal 800 m über Grund überflogen, um die Bildqualität für unterschiedliche Flughöhen beurteilen zu können. In nachfolgender Abbildung 1-12 ist die Flugroute des ersten Fluges der Cessna in blau in Google Earth dargestellt. Es wurde eine Strecke von 179 km beim ersten Flug über einen Zeitraum von 1 h 28 min zurückgelegt.

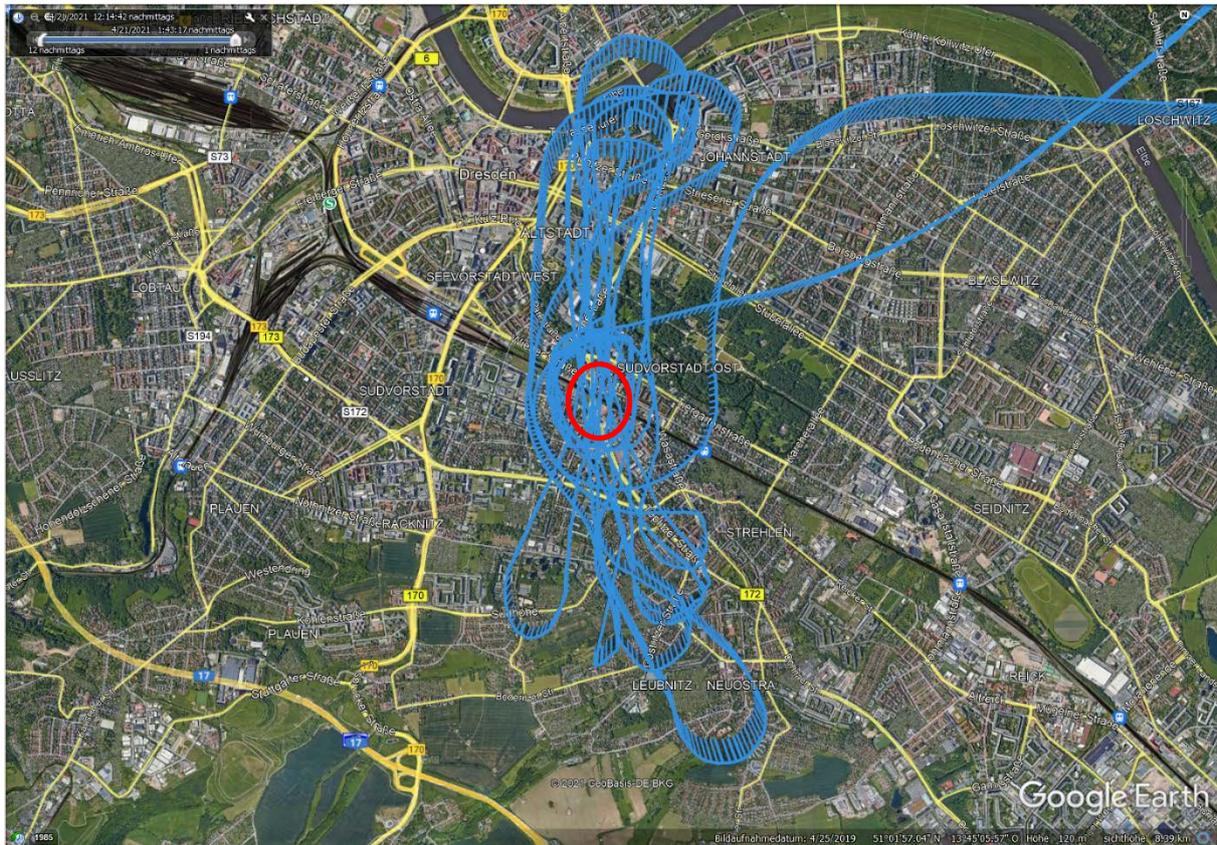


Abbildung 1-12: Flugroute von Flug 1 der Cessna, Screenshot in Google Earth

Bei näherer Betrachtung der zurückgelegten Flugroute ist ersichtlich, dass der gewählte Unfallschwerpunkt einmal direkt überflogen wurde. Der nachgewiesene Flugpfad der Cessna liegt sonst in direkter Umgebung von der Kreuzung, sodass diese in den Videoaufnahmen trotzdem miterfasst wurde. Nachfolgende Abbildung 1-13 zeigt einen kleineren Ausschnitt der Trajektorien der Cessna in der direkten Umgebung des betrachteten Unfallschwerpunktes mittig im Bild.

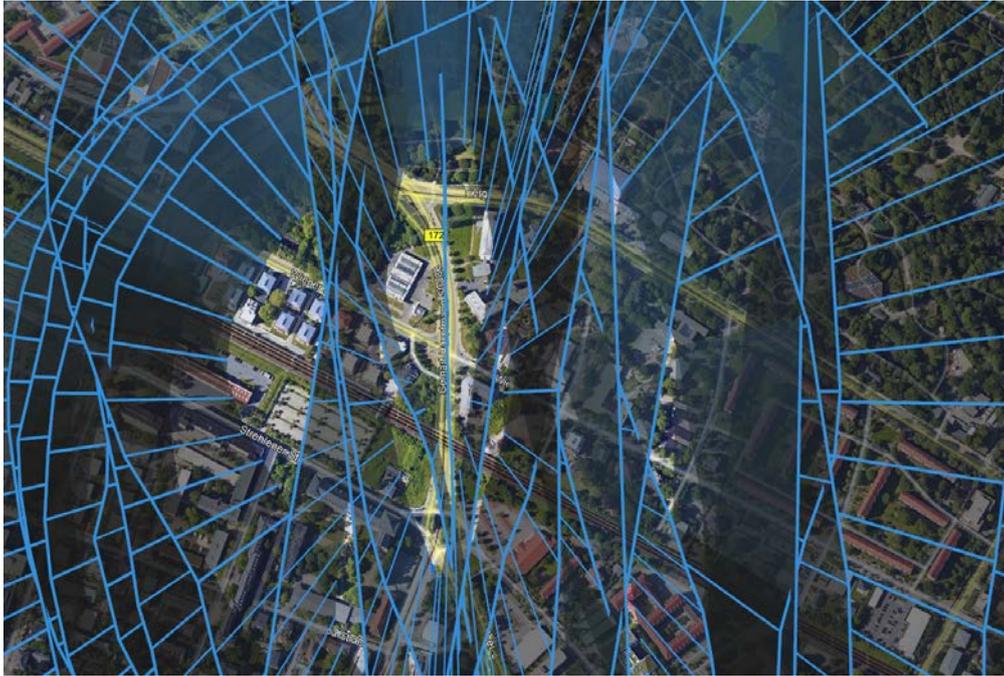


Abbildung 1-13: Ausschnitt der Trajektorien oberhalb des betrachteten Unfallschwerpunktes

Nachfolgende Abbildung 1-14 zeigt das zugehörige Höhen- (rot) und Geschwindigkeitsprofil (blau) des ersten Fluges der Cessna. Demzufolge betrug die Flughöhe über der betrachteten Kreuzung zwischen 400 m und 766 m über Grund. Die Geschwindigkeit des Flugzeuges beim ersten Flug lag im Mittel bei 121 km/h. Es gab verschiedene Ausreißer, wie den Maximalwert von 518 km/h, welcher keine realistische Angabe darstellt. Diese Ausreißer liegen im mittleren Bereich der Flugstrecke, in welcher die Kreuzung mehrfach überflogen wurde. Vergleicht man den mittleren Bereich mit dem An- und Abflug zur bzw. von der Kreuzung, fallen hier hohe Abweichungen im Vergleich zum mittleren Geschwindigkeitswert auf. Diese Ausreißer beruhen auf Messfehlern, wie sie beispielsweise durch das GPS verursacht werden können. Im Pilot's Operating Handbook der Cessna Skyhawk wird außerdem eine maximale Reisegeschwindigkeit von 230 km/h ausgewiesen. Somit ist eine derart hohe Geschwindigkeitszu- und -abnahme nachweislich nicht möglich.



Abbildung 1-14: Höhen- und Geschwindigkeitsprofil von Flug 1 der Cessna

Für den zweiten durchgeführten Flug der Cessna sind diese Daten ebenfalls abrufbar. Nachfolgende Abbildung 1-15 zeigt in blau den Flugroutenverlauf dieses Fluges.

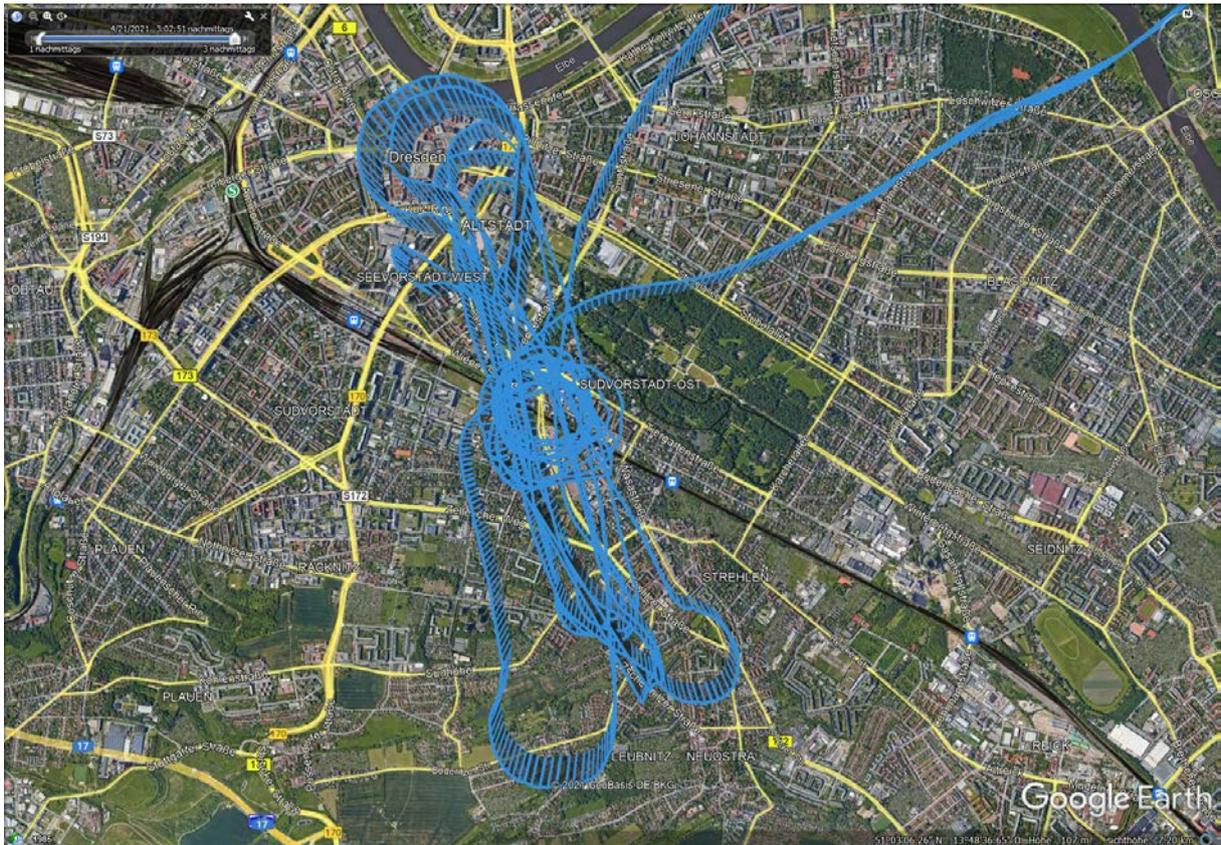


Abbildung 1-15: Flugroute von Flug 2 der Cessna, Screenshot in Google Earth

Nachfolgende Abbildung 1-16 zeigt das zugehörige Höhen- und Geschwindigkeitsprofil über die zurückgelegte Entfernung von 167 km für den zweiten Flug. Die Flughöhe variiert über der betrachteten Kreuzung zwischen 450 m und 771 m über Grund. Die Geschwindigkeit des Flugzeuges beim zweiten Flug lag im Mittel bei 142 km/h. Analog zum ersten Flug liegen Ausreißer im mittleren Bereich der Flugroute beim Überflug der betrachteten Kreuzung vor. Diese beruhen auch hier auf Messfehlern und erklären die starken Abweichungen.

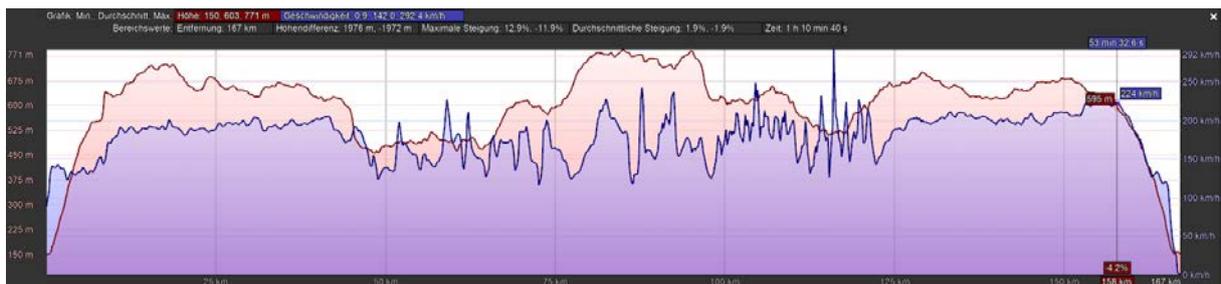


Abbildung 1-16: Höhen- und Geschwindigkeitsprofil von Flug 2 der Cessna

Somit ist es mit Ausnahme der Ausreißerwerte zu jedem Zeitpunkt des Fluges möglich, die aktuelle Geschwindigkeit, Flughöhe und zurückgelegte Entfernung auszuweisen.

Parallel dazu hat die Drohne am selben Tag 15 Aufstiege mit einer durchschnittlichen Videoaufnahmezeit von 20 Minuten durchgeführt. Die Koordinaten und die Position der Drohne während der Videoaufnahme sind nachfolgender Abbildung 1-17 zu entnehmen. Die Höhe der Drohne betrug 53,6 m.



Abbildung 1-17: Position der Drohne mit Koordinaten, Screenshot in Google Earth

Zwischen den Aufstiegen wurde der Akku der Drohne gewechselt und die leeren Akkus wurden wieder aufgeladen, um eine durchgängige Videoaufzeichnung mit möglichst kurzen Unterbrechungen zu gewährleisten. Die Akkuladestation ist in nachfolgender Abbildung 1-18 dargestellt.



Abbildung 1-18: Akkuladestation DJI

1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Kamerasysteme

Es gibt bereits verschiedene Kameras und Kamerasysteme, die sich zur Anbringung an einem LFZ und für die Verkehrsbeobachtung aus der Luft eignen.

Eine Rolle für die Qualität der aufgenommenen Videodaten spielt dabei die Auflösung und die Öffnungsweite des Objektivs. Auch sollten die eingesetzten Kameras, die an einem LFZ auftretenden Rotationen und Erschütterungen ausgleichen können.

Die Öffnungswinkel der Kameraobjektive können zwischen 30 und 90 Grad liegen, beeinflussen jedoch auch der Bildkrümmung. Im Rahmen von ARCADIA sollte herausgefunden werden, welcher Öffnungswinkel für die Verkehrsbeobachtung aus der Luft am geeignetsten ist. Zudem sollte untersucht werden, welche Rohformate auf den Kameras von Drohne und Leichtflugzeug gespeichert werden müssen, damit alle Daten erhalten, übertragen und entnommen werden können.

Das im Projekt ARCADIA eingesetzte Leichtflugzeug wurde mit insgesamt drei verschiedenen Kameras ausgerüstet. Zum einen kam die Kamera „Hero 9 Black“ des Herstellers GoPro zum Einsatz [7]. Diese sogenannte Action-Kamera kann für vielfältige Anwendungen eingesetzt werden und verfügt über einen internen Bildstabilisator. Als zweite Actionkamera wurde die „Osmo Action“ des Herstellers DJI am Leichtflugzeug angebracht [8]. Als dritte Kamera wurde die „Lumix DMC-FZ1000“ des Herstellers Panasonic im Projekt eingesetzt [9]. Diese ist geeignet, direkt aus dem LFZ heraus das Verkehrsgeschehen zu filmen.

Die im Projekt eingesetzte Drohne „P4P Plus V2.0“ [10] des Herstellers DJI war bereits mit einer internen Kamera ausgerüstet, welche im Projekt Anwendung fand. Diese Kamera ist eine 3-Achs-stabilisierte Kamera und sorgt für einen stets konstanten Bildausschnitt.

Kamerabefestigungssysteme

Um Kamerasysteme an LFZ zu befestigen, existieren ebenfalls bereits verschiedene Methoden und Möglichkeiten.

Für Leichtflugzeuge hat sich die Methode bewährt, die eingesetzte Kamera mit haftungsstarken Saugnäpfen am Flügel des Flugzeugs zu befestigen. Die beiden Actionkameras GoPro 9 „Hero Black“ und „DJI Osmo Action“ konnten besonders leicht extern am Flügel des Leichtflugzeuges befestigt werden. Auch konnte direkt aus dem Leichtflugzeug gefilmt werden. Für diesen Einsatzzweck war die Kamera Panasonic „Lumix DMC-FZ1000“ geeignet.

Die Kamera der Drohne „DJI P4P Plus V2.0“ war direkt an diesen befestigt.

Kamerasensoren mit Rolling Shutter und Global Shutter

Ein wichtiges technisches Merkmal für die Auswertung der Videoaufnahmen ist die Fragestellung, ob die Kamera mit einem Global Shutter oder einem Rolling Shutter ausgerüstet ist.

Bei einem Global Shutter können alle Pixel des Kamerasensors gleichzeitig für die gleiche Belichtungszeit belichtet werden. Beim Rolling Shutter können die Pixel zeilen- oder spaltenweise nacheinander belichtet werden. Beim Rolling Shutter wird also eine Bildperiode benötigt, bevor alle Pixel auf dem Sensor lichtempfindlich sind. Bei bewegten Objekten wird dieser Effekt besonders deutlich, es entsteht unter Umständen eine verzerrte Darstellung der Aufnahme [12]. Allerdings schaffen Sensoren mit Rolling-Shutter Pixelarchitekturen mit weniger Transistoren [13], was wiederum die Kosten und die Wärmeentwicklung minimiert. Auch verfügen Kameras mit Rolling-Shutter oft über einen größeren Dynamikbereich [14].

Die im Projekt eingesetzten Kameras verfügen zum Teil über einen Global Shutter (Panasonic „Lumix DMC-FZ1000“, Kamera der Drohne „DJI P4P Plus V2.0“) sowie zum Teil über einen Rolling Shutter (DJI „Osmo Action“, GoPro 9 „Hero Black“). Der Einsatz von Kamerasystemen und Befestigungssystemen erlaubte im Rahmen der Projektbearbeitung das Testen verschiedener Kombinationen. So kann die für die technische Umsetzbarkeit der ganzheitlichen Verkehrsbeobachtung aus der Luft die am besten geeignete Kombination aus Kamera und Befestigung am LFZ gefunden werden.

Zweidimensionale, bodengestützte Detektion und Erfassung von Verkehrsszenarien – Methode AIMATS

Das Fraunhofer IVI hat die Methode „AIMATS“ zur bodengestützten Verkehrsbeobachtung und Erhebung von Unfallszenarien entwickelt. Diese zweidimensionale Methode der Verkehrsbeobachtung erfolgt mit Infrarot-Kameras und hat sich für die stationäre Überwachung und Erfassung des Verkehrs an einem vorher festgelegten Unfallschwerpunkt bewährt. Dabei kann allerdings immer nur an einem festen Unfallschwerpunkt gemessen werden. Der Bildbereich vor dem Unfallschwerpunkt (Pre-Crash-Phase) kann nicht durch die Kameras abgedeckt werden. Die zugehörigen Kamerasysteme werden

ebenfalls an festen Punkten installiert und können dadurch nicht variabel einfach umgesetzt oder verändert werden.

Inhaltliche Abgrenzung des Projekts ARCADIA

Das Projekt ARCADIA greift hierbei auf einen völlig anderen Ansatz der ganzheitlichen und dreidimensionalen Verkehrsdatenerhebung aus der Luft zurück. Die Verkehrserhebung ist nicht auf einen vorher festgelegten stationären Punkt mit geringem Aufnahmebereich begrenzt. Stattdessen können mit einem einzigen Überflug bereits mehrere Unfallschwerpunkte auf einmal überfliegen und im Videobild erfasst werden.

Luftgestützte Detektion und Erfassung von Verkehrsszenarien – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Der wissenschaftliche Ansatz der Verkehrsbeobachtung mithilfe luftgestützter Videoaufnahmen ist in Deutschland nicht neu. Es wurden bereits unterschiedliche Ansätze in Form von Forschungsprojekten erprobt und umgesetzt. Diese Ansätze unterscheiden sich jedoch in Bezug auf Inhalt, Umsetzung und die gewonnenen Ergebnisse von dem geplanten Forschungsvorhaben ARCADIA.

Luftgestützte Videoerfassung von Verkehr wird in Deutschland bereits u. a. vom DLR betrieben. In dem Projekt DLRAD werden mobile und stationäre bodengestützte sowie luftgestützte Verkehrsbeobachtung miteinander vereint, um Verkehrsabläufe aus verschiedenen Perspektiven erfassen zu können. Dabei kommt ein festes Referenzfahrzeug zum Einsatz, dessen Bewegungen im Verkehr aus verschiedenen Blickwinkeln wahrgenommen werden kann. Es befinden sich dabei Sensoren direkt am Fahrzeug. Des Weiteren wird das Referenzfahrzeug stationär von Kamerasystemen am Boden erfasst sowie mithilfe eines Kamerasystems an einem Helikopter, welcher aus der Luft den Verkehr beobachten kann, erkannt [15].

Inhaltliche Abgrenzung des Projekts ARCADIA

Das Projekt ARCADIA führte vor Beginn der Verkehrsbeobachtung aus der Luft mithilfe von Kamerasystemen an verschiedenen LFZ eine umfangreiche Unfalldatenanalyse durch, um Unfallschwerpunkte zu identifizieren. Auch wurden im Rahmen von ARCADIA mehrere Verkehrsteilnehmer während einer einzigen Befliegung erfasst. Währenddessen erfolgte die Fokussierung in DLRAD nur auf ein einzelnes Referenzfahrzeug.

Luftgestützte Detektion und Erfassung von Verkehrsszenarien – fka GmbH

Die fka GmbH beschäftigt sich mit der Generierung von Verkehrsdaten mittels luftgestützter Drohnenaufnahmen. Die Ergebnisse fließen in eine Datenbank ein. Die in dieser Datenbank gespeicherten Verkehrsszenarien dienen als Grundlage für die Entwicklung und Absicherung automatisierter Fahrfunktionen [16].

Inhaltliche Abgrenzung des Projekts ARCADIA

Im Rahmen des Projekts ARCADIA erfolgte die luftgestützte Verkehrsbeobachtung neben Drohnen (Unmanned Aerial Systems, UAS) auch noch mit einem anderen Luftfahrzeugtyp. Der Einsatz von Drohnen war dabei stark auf die stationäre Beobachtung einzelner Kreuzungen festgelegt. Auch mussten für den Betrieb von Drohnen eine Reihe von Vorschriften und Erlaubnissen vor Flugdurchführung eingeholt werden. Im Projekt ARCADIA wurden die Vorteile verschiedener LFZ-Typen und Aufnahmebereiche miteinander kombiniert und gegeneinander abgewogen.

Zudem lag der Fokus im Projekt ARCADIA auf dem urbanen Bereich und der Detektion von VRU.

Fazit Wissenschaftlicher und technischer Stand

Zusammenfassend existierten bereits vor Projektbeginn verschiedene Ansätze zur Verkehrsbeobachtung, sowohl bodengestützt als auch aus der Luft. ARCADIA grenzte sich von diesen Ansätzen jedoch inhaltlich ab bzw. entwickelte diese weiter.

Der innovative Charakter von ARCADIA lag darin, dass vor der Durchführung der Verkehrsbeobachtung eine Analyse von Unfalldaten hinsichtlich potenzieller unfallauffälliger Stellen stattfand. So wurden Unfallschwerpunkte im Straßennetz lokalisiert, bei denen eine hohe Wahrscheinlichkeit der Aufnahme von kritischen Situationen oder von Unfällen bestand und nach denen anschließend gezielt im Videobild gefiltert werden konnte. Dies ersparte viel zusätzlichen Arbeits- und Zeitaufwand in der Datenanalyse und Datenauswertung.

ARCADIA nutzte die Vorteile einer ganzheitlichen Verkehrsbeobachtung aus der Luft und hat dabei verschiedene Luftfahrzeugtypen eingesetzt, um ein breites Spektrum an Videoaufnahmen zu generieren. Zudem wurde im Projekt ARCADIA erstmalig technisch untersucht, welches Kamerasystem und welche Kamerabefestigung für den Zweck der ganzheitlichen Verkehrsbeobachtung aus der Luft speziell für VRU am besten geeignet sind.

Georeferenzierung von Luftbildern

Die in nachfolgender Tabelle 1-2 aufgeführten Methoden für die Georeferenzierung von Luftbildern basieren alle auf Image Matching Algorithmen wie SURF (Speeded Up Robust Features) und SIFT (Scale Invariant Feature Transform), die anhand von markanten Bildmerkmalen Korrespondenzen zwischen Bildpaaren detektieren. Anhand dieser Korrespondenzen können dann Transformationsmatrizen erzeugt werden, die das anzupassende Bild in das lokale Koordinatensystem des Referenzbildes transformiert. Diese Algorithmen sind unabhängig vom Blickwinkel, sodass sowohl Schräg- als auch Senkrechtaufnahmen miteinander registriert werden können. Für die Transformation in ein globales Koordinatensystem werden bei allen Methoden zumindest die GPS-Koordinaten des Referenzbildes benötigt.

Tabelle 1-2: Verfahren zur Georeferenzierung

Veröffentlicht	Verfahren	Voraussetzungen
Verykokou et al. 2016 [17]	<ul style="list-style-type: none"> - Bestimmung überlappender Bilder - Image Matching (SURF) – Korrespondenzen zwischen Bildern finden - Transformationsparameter jedes Bildes zum Referenz-Koordinatensystem 	<ul style="list-style-type: none"> - Schräg- und Senkrechtaufnahmen - Kein GNSS/INS bzw. Flughöhe notwendig außer Koordinaten des Referenzbildes
Genivia et al. 2014 [18]	<ul style="list-style-type: none"> - Jedes Bild: Bounding Box mittels GNSS/INS - Basemap-Daten innerhalb der Bounding Box - Image Matching (ASIFT) - Verknüpfungspunkte für Georeferenzierung 	<ul style="list-style-type: none"> - Schräg- und Senkrechtaufnahmen - GNSS/INS notwendig
Nassar et al. 2018 [19]	<ul style="list-style-type: none"> - Image Matching (SIFT) und affine Transformation (Homographie-Matrix) von UAV-Daten und Referenzbild - Sequenzielle Bildregistrierung (ORB für Image Matching) - semantische Segmentierung mit U-Net – Extraktion von bedeutenden Formen (Straßen, Gebäude) 	<ul style="list-style-type: none"> - UAV-Daten, vermutlich als Senkrechtaufnahme - GPS-Koordinaten des Anfangsbildes notwendig

	- Semantic Shape Matching – passende Formen für neue Homographie → bessere Genauigkeit der UAV-Position	
--	---	--

Objekterkennung und -verfolgung

In nachfolgender Tabelle 1-3 werden verschiedene Verfahren zur Objekterkennung und -verfolgung mit deren Voraussetzungen aufgeführt.

Tabelle 1-3: Verfahren zur Objekterkennung und -verfolgung

Veröffentlicht	Verfahren	Voraussetzungen
Lenhart et al. 2008 [20]	<ul style="list-style-type: none"> - Extraktion homogener Flächen (lokales Farbhistogramm) - Nachbarbeziehungen zwischen Straßenoberflächenkandidaten (entlang einer GIS-Straßenachse) - Extraktion der Straße + Spuren - Extraktion Autos (Blob-Extraktion → dynamische Festlegung Grenzwert abh. von 	
	<ul style="list-style-type: none"> - form-basierter Matching-Algorithmus in Bild-Tripeln - mehrere Hypothesen für Objektkandidaten - Bayesian Maximum Wahrscheinlichkeits-Entscheidungsregel → einfaches Bewegungsmodell (ruhige Spuren, Geschwindigkeitsverläufe) 	
Schmidt et al. 2011 [21]	<ul style="list-style-type: none"> - Statische Objektdetektion - Extraktion von Merkmalen innerhalb Detektionsfenster - Übergabe an trainierten Klassifikator (Gentle AdaBoost) - Entscheidung über Präsenz eines Objektes 	<ul style="list-style-type: none"> - hier: 1500 m Flughöhe, 15 cm GSD (Ground Sampling Distance) → Person nur 4x4 Pixel - Orthorektifizierung - Georeferenzierung - feste GSD
	<ul style="list-style-type: none"> - Adaption eines iterativen Bayesian Tracking-Ansatzes - Berechnung mit Optical Flow (gut geeignet bei Tracking von Personen, da kaum Fortbewegung zwischen 2 Szenen) mit Informationen zu Farbe und Position → Bewegungsinformation jeder Beobachtung - Nahezu konstantes Geschwindigkeitsmodell für Abschätzung Objektzustände in jedem Bild - Assoziationsmodul → Eins-zu-eins Assoziationen zwischen Objekt und Beobachtung → Auswahl falscher und richtiger Beobachtungen 	
Huang et al. 2010 [23]	<ul style="list-style-type: none"> - Differenz von aufeinanderfolgenden Frames - Bildsegmentierung (Pixel mit gleichen Attributen – Farbe, räumliche Position) - Morphingbasierte Fusion → integrieren der Resultate von Differenz und Segmentierung 	<ul style="list-style-type: none"> - Georeferenzierung

	- Detektion von Position und Form der bewegten Objekte	
	- Objektverfolgung mit Kalman-Filter	
Bahmanyar et al. 2018 [22]	<ul style="list-style-type: none"> - Verfolgung mehrerer Objekte – SMSOT-CNNs - Stack von Micro-CNNs → jedes Micro-CNN verantwortlich für Verfolgung eines einzelnen Objektes - Basis-CNN = GOTURN (Held et al. 2016) - Input: 2 aufeinanderfolgende Frames → Ausschnitt des Objekts und Ausschnitt des Suchraumes - Output → Zusammenfügen in einen Fully connected Layer (FC) und Suche nach neuer Objektposition 	<ul style="list-style-type: none"> - Georeferenzierung - 12-15 cm GSD

Für die Objekterkennung und -verfolgung nutzen [20] und [23] Methoden, die referenzierte Bilder segmentieren (z. B. durch Histogramm-Analyse oder Bilddifferenzen), bewegte Objekte extrahieren (z. B. Blob-Extraktion) und über einfache Modelle verfolgen (z. B. Kalman-Filter). Die Voraussetzung bei beiden Methoden ist eine bereits vorhandene Georeferenzierung oder Registrierung der Bilder miteinander.

Die Methoden von [22] und [21] basieren auf Machine-Learning-Algorithmen wie CNNs, die für die Verfolgung einzelner Bildobjekte zuständig sind, oder einem trainierten Klassifikator, der über die Präsenz von bewegten Objekten entscheidet. Bei Letzterem erfolgt die Verfolgung über das Verfahren „Optical Flow“, für das ein konstantes Geschwindigkeitsmodell angenommen wird. Auch bei diesen beiden Methoden wird eine Georeferenzierung der zu analysierenden Bilder vorausgesetzt.

Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Im Rahmen von ARCADIA wurde das Thema Schutzrechte nicht berührt. Es sind aktuell keine Schutzrechte Dritter bekannt, die einer möglichen späteren Verwertung entgegenstehen. Inhalt des Projekts war es, möglichst für alle Bereiche der digitalen Verarbeitungskette auf OpenSource Komponenten zu setzen. Diese Aufgabe war Bestandteil der inhaltlichen Arbeit im Projekt.

Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Georeferenzierung

Verykokou, Styliani; Ioannidis, Charalabos (2016): Automatic Rough Georeferencing of Multiview Oblique and Vertical Aerial Image Datasets of Urban Scenes. In: *Photogram Rec* 31 (155), S. 281–303. DOI: 10.1111/phor.12156.

Ahmed Nassar, Karim Amer, Reda ElHakim, Mohamed ElHelw: A Deep CNN-Based Framework for Enhanced Aerial Imagery Registration With Applications to UAV Geolocalization.

Geniviva, Amanda; Faulring, Jason; Salvaggio, Carl (2014): Automatic georeferencing of imagery from high-resolution, low-altitude, low-cost aerial platforms. In: Matthew F. Pellechia, Kannappan Palaniappan, Shiloh L. Dockstader, Peter J. Doucette und Donnie Self (Hg.): SPIE Defense + Security. Baltimore, Maryland, USA, Monday 5 May 2014: SPIE (SPIE Proceedings), 90890D.

Objekterkennung und –verfolgung

Lenhart, D.; Hinz, S.; Leitloff, J.; Stilla, U. (2008): Automatic traffic monitoring based on aerial image sequences. In: *Pattern Recognit. Image Anal.* 18 (3), S. 400–405. DOI: 10.1134/S1054661808030061.

Florian Schmidt, Stefan Hinz (2011): A Scheme for the Detection and Tracking of People Tuned for Aerial Image Sequences.

R. Bahmanyar, S. M. Azimi, P. Reinartz (2018): Multiple Vehicles And People Tracking In Aerial Imagery Using Stack Of Micro Single-Object-Tracking CNNs.

Chung-Hsien Huang, Yi-Ta Wu, Jau-Hong Kao, Ming-Yu Shih, and Cheng-Chuan Chou (2010): A Hybrid Moving Object Detection Method for Aerial Images. In: *PCM 2010 Part I* (LNCS 6297), S. 357–368.

1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Nicht zutreffend

2. Eingehende Darstellung

2.1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

2.1.1 Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Tabelle 2-1: Verwendung – AP1

Geplantes Ergebnis	Verwendung der Zuwendung	Erzieltes Ergebnis
Auswahl geeigneter Unfallschwerpunkte im Dresdner Stadtgebiet	Analyse der vorliegenden polizeilichen EUSka-Unfalldaten für den Zeitraum 2010 bis 2020 für das Dresdner Stadtgebiet unter Berücksichtigung weiterer Rahmenbedingungen, wie benötigte Überfluggenehmigungen und Berücksichtigung von Sichtverdeckungen	Nach Analyse der polizeilichen EUSka-Unfalldaten und Berücksichtigung der aufgezählten weiteren Rahmenbedingungen konnten zwei geeignete Unfallschwerpunkte im Dresdner Stadtgebiet für die Befliegungen mit einer Drohne und einem Leichtflugzeug ausgewählt werden
Auswahl und Test von Kamerasystemen	Verschiedene Kamerasysteme wurden nach den in Kapitel 1.4 beschriebenen Randbedingungen verglichen und hinsichtlich ihrer Eignung für die geplanten Befliegungen ausgewählt	Es konnten drei für die Befliegungen mit dem Leichtflugzeug geeignete Kamerasysteme ausgewählt werden. Die eingesetzte Drohne verfügt bereits über ein intern verbautes Kamerasystem, welches für die angestrebten Befliegungen in Frage kommt.

Befliegungen der beiden gewählten Unfallschwerpunkte	Die beiden LFZ wurden mit den ausgewählten Kamerasystemen ausgerüstet und für den Befliegungstag vorbereitet. Vorbereitend dazu wurden die für den Überflug benötigten Fluggenehmigungen für die Drohne und das Leichtflugzeug eingeholt.	Die Befliegungen der beiden ausgewählten Unfallschwerpunkte konnten erfolgreich durchgeführt werden. Es wurden Verkehrsbeobachtungsdaten aus der Luft sowohl mit dem Kamerasystem der Drohne als auch mit den drei Kamerasystemen des Leichtflugzeuges gewonnen.
--	---	--

Tabelle 2-2: Verwendung – AP2

Geplantes Ergebnis	Verwendung der Zuwendung	Erzieltes Ergebnis
Aufbereitung Videodaten	Die Videoaufnahmen des Leichtflugzeuges wurden von dem Fraunhofer IVI analysiert und aufbereitet. Die Videoaufnahmen der Drohne wurden von der Airclip Service GmbH in Zusammenarbeit mit der Firma DataFromSky analysiert und aufbereitet.	Die Luftaufnahmen wurden gesichtet und für die weitere Verarbeitung aufbereitet, Details in Abschnitt 2.1.2
Auswertung von Videosequenzen	Einzelne ausgewählte Videoaufnahmen des Leichtflugzeuges wurden von dem Fraunhofer IVI ausgewertet. Einzelne ausgewählte Videoaufnahmen der Drohne wurden von der Airclip Service GmbH in Zusammenarbeit mit der Firma DataFromSky ausgewertet.	Ausgewählte Videosequenzen wurden exemplarisch ausgewertet, Details in Abschnitt 2.1.3
Bewertung der Ergebnisse	Die Analyse der ausgewählten Videodaten und die Extraktion der identifizierten Verkehrsteilnehmer werden bewertet. Die Ergebnisse werden anschließend zusammengefasst und aufbereitet.	Eine Bewertung der Ergebnisse erfolgt in Abschnitt 2.1.4

2.1.2 Vorbereitung der aufgenommenen Daten

Die Aufnahmen aus dem Leichtflugzeug wurden als mehrminütige fortlaufende Videosequenzen übermittelt. Diese wurden gesichtet und diejenigen Abschnitte extrahiert, in denen die ausgewählten Kreuzungen überflogen wurden. In der nachfolgenden Tabelle 2-3 sind die Ausschnitte und Kamerasysteme aufgelistet, die für eine Auswertung in Betracht kamen.

Tabelle 2-3: Flugsequenzen über den Unfallschwerpunkten

Kamera	Sequenz-dauer	Geogr. Breite [°] (Beginn)	Geog. Länge [°] (Beginn)	Höhe [m] (Beginn)	Geogr. Breite [°] (Ende)	Geog. Länge [°] (Ende)	Höhe [m] (Ende)
DJI Osmo Action	00:12	51,03350	13,75137	503,6	51,03725	13,75009	499,5
DJI Osmo Action	00:14	51,03637	13,74833	492,9	51,03146	13,75054	503,7
DJI Osmo Action	00:11	51,03352	13,74955	407,2	51,03756	13,74936	423,2
DJI Osmo Action	00:15	51,03675	13,74820	576,3	51,03112	13,75085	608,4
DJI Osmo Action	00:13	51,03332	13,74861	596,3	51,03844	13,74762	608,5
DJI Osmo Action	00:14	51,03668	13,75080	595,8	51,03075	13,74887	603,1
DJI Osmo Action	00:15	51,03324	13,74751	595,8	51,03925	13,74915	607,0
DJI Osmo Action	00:20	51,03774	13,75489	717,6	51,02992	13,75262	750,3
DJI Osmo Action	00:05	51,03369	13,74942	751,8	51,03557	13,74989	746,1
DJI Osmo Action	00:14	51,03746	13,75082	748,9	51,03109	13,75000	756,6
DJI Osmo Action	00:06	51,03348	13,74692	566,5	51,03552	13,74556	575,2
DJI Osmo Action	00:06	51,03412	13,74591	545,0	51,03589	13,74540	543,0
GoPro 9	00:08	51,03473	13,75101	475,4	51,03112	13,75148	476,7
GoPro 9	00:06	51,03337	13,74713	474,7	51,03530	13,74587	476,1
GoPro 9	00:11	51,03401	13,74791	519,5	51,03782	13,74641	517,8
GoPro 9	00:08	51,03502	13,75158	480,6	51,03161	13,75307	464,4
GoPro 9	00:10	51,03412	13,74738	490,7	51,03779	13,74586	476,2
GoPro 9	00:11	51,03608	13,75049	562,6	51,03119	13,75299	587,5
GoPro 9	00:13	51,03296	13,74738	603,3	51,03756	13,74558	596,8
GoPro 9	00:11	51,03667	13,75162	585,0	51,03262	13,75463	592,4
GoPro 9	00:14	51,03290	13,47441	716,0	51,03802	13,74567	729,7
GoPro 9	00:11	51,03582	13,74840	755,4	51,03066	13,75032	765,0
GoPro 9	00:14	51,03323	13,74887	747,2	51,03863	13,74721	737,0
GoPro 9	00:16	51,03694	13,75157	724,2	51,03116	13,75467	739,5

Für die Auswertung wurde der erste Ausschnitt der DJI Osmo Action über dem Strehlener Platz und der erste Ausschnitt der GoPro 9 über der Kreuzung Wiener Straße und Gerhart-Hauptmann-Straße verwendet. Die Flughöhe von beiden exemplarischen Ausschnitten beträgt ca. 500 m.

2.1.3 Beschreibung der Umsetzung

Die Analyse der Videos bestand aus zwei wesentlichen Arbeitsschritten, der Georeferenzierung, der Objekterkennung und der Objektverfolgung. Für die Analyse wurden einzelne Frames in vorher bestimmten zeitlichen Abständen aus den Videos extrahiert.

Da für die Georeferenzierung der Anfangsbilder keine Punkte mit bekannten GPS-Koordinaten vorlagen, wurden die extrahierten Bilder mittels Affin-Transformation in ein gemeinsames lokales Koordinatensystem transformiert. Bei einer Affin-Transformation erfolgt eine Translation (Verschiebung), Skalierung und Rotation, um das zu transformierende Bild auf das Referenzbild anzupassen. Dazu müssen in jedem Bild drei identische Verknüpfungspunkte ausgewählt werden, anhand derer dann die Transformationsparameter berechnet werden können. Dabei hängt die Genauigkeit der Transformation und somit auch der nachfolgenden Analyse von der Genauigkeit bei der Identifikation der Punkte und dementsprechend auch von der Auflösung der Bilder ab. Die transformierten Bilder werden anschließend auf das Untersuchungsgebiet zugeschnitten.



Abbildung 2-1: Berechnetes Hintergrundbild (links) und Einzelbild vom Strehleiner Platz (rechts)

Für die Objektverfolgung wurde in einem ersten Ansatz eine Analyse von lokalen Grauerthistogrammen durchgeführt, mit der ein Hintergrundbild der Straße ohne bewegte Objekte extrahiert werden konnte. Bei dieser Histogramm-Analyse wurde der am häufigsten auftretende Grauwert jedes Pixels über alle Bilder extrahiert. Aus diesen Grauwerten konnte dann das Hintergrundbild zusammengesetzt werden, das dann von allen Bildern subtrahiert werden konnte. In der Folge können ausschließlich bewegte Objekte anhand starker Abweichungen der Grauwerte extrahiert und angezeigt werden. In vorangegangener Abbildung 2-1 sind ein auf das durch die Histogramm-Analyse extrahiertes Hintergrundbild (links) sowie ein auf das Untersuchungsgebiet zugeschnittenes transformiertes Bild der Kreuzung (rechts) zu sehen

In einem zweiten Ansatz, der unabhängig von der Extraktion dieses Hintergrundbildes arbeitet, wurden Differenzbilder zwischen den zeitlich aufeinanderfolgenden extrahierten Frames berechnet. Die Grauwerte dieser Differenzbilder wurden in einem Histogramm aufsummiert. Aus dem Grauerthistogramm in nachfolgender Abbildung 2-2 ist abzulesen, dass der größte Teil aller Bilder durch die Subtraktion schwarz ist (keine Veränderung der Grauwerte) und nur ein kleiner Teil weiß ist (hohe Veränderung der Grauwerte). Pixel mit einem hohen Weißwert stellen somit die veränderten Objekte bzw. bewegten Objekte dar. Aus dem Histogramm konnte anhand des Mittelwerts und der Standardabweichung der Grauwerte ein Schwellwert abgeleitet werden, welcher ein Pixel als Teil des Hintergrunds oder als Teil eines bewegten Objekts klassifiziert. Der Ansatz über Mittelwert und Standardabweichung diente dazu Fehlereinflüsse bei der Klassifizierung durch das Rauschen im Differenzbild zu verhindern.

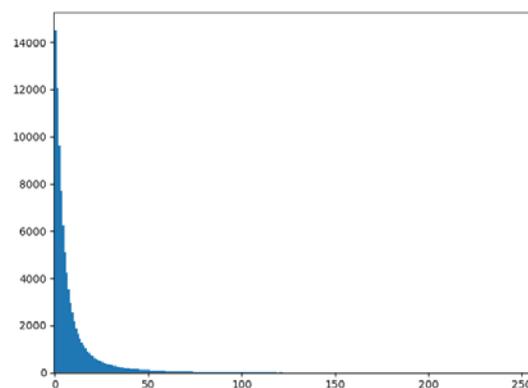


Abbildung 2-2: Grauerthistogramm der Differenzbilder

Der Schwellwert wird anschließend genutzt, den Hintergrund der Differenzbilder zu maskieren, sodass im Bild nur noch bewegten Objekte hervorgehoben werden können. Die nachfolgende Abbildung 2-3 zeigt ein solches Differenzbild.

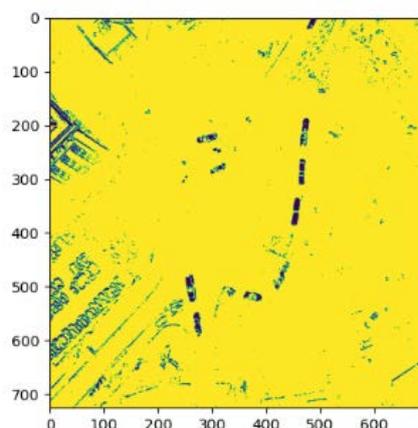


Abbildung 2-3: Maskiertes Differenzbild zwischen zwei Frames

Bei beiden Ansätzen könnten ähnlich gute Ergebnisse erzielt werden. Für den Knotenpunkt „Strehleener Platz“ erbrachte der erste Ansatz über Differenzbilder zum Hintergrund etwas bessere Ergebnisse, sodass hier mit den Einzelbildern weitergerechnet wurde. Für den Knotenpunkt „Wiener Straße und Gerhart-Hauptmann-Straße“ konnte der Ansatz über Differenzbilder zeitlich aufeinanderfolgender Differenzbilder geringfügig bessere Ergebnisse erzielen.

Die maskierten Einzel- bzw. Differenzbilder ermöglichten dann eine Blobanalyse⁸. Dabei wurden in einem Binärbild helle Bereiche auf dunklem Hintergrund gesucht. Dafür gibt es verschiedene Algorithmen. In diesem Fall wurde die Hesse-Determinante verwendet, welche die Maxima in der Hesse-Matrix des Bildes identifiziert. Abhängig von einem bei der Blobanalyse angegebenen Schwellwert wurden kleinere oder größere zusammenhängende Bereiche im Bild extrahiert. Als Ansatz für die Objektverfolgung wurden die Blobs als Kreise angenommen und die Zentren von sich überlappenden Blobs zweier aufeinanderfolgender Bilder miteinander verbunden. Die nachfolgende Abbildung 2-4 zeigt die Blobs aller Einzelbilder und die Linien, die diese Blobs miteinander verbinden.

⁸ https://scikit-image.org/docs/dev/auto_examples/features_detection/plot_blob.html

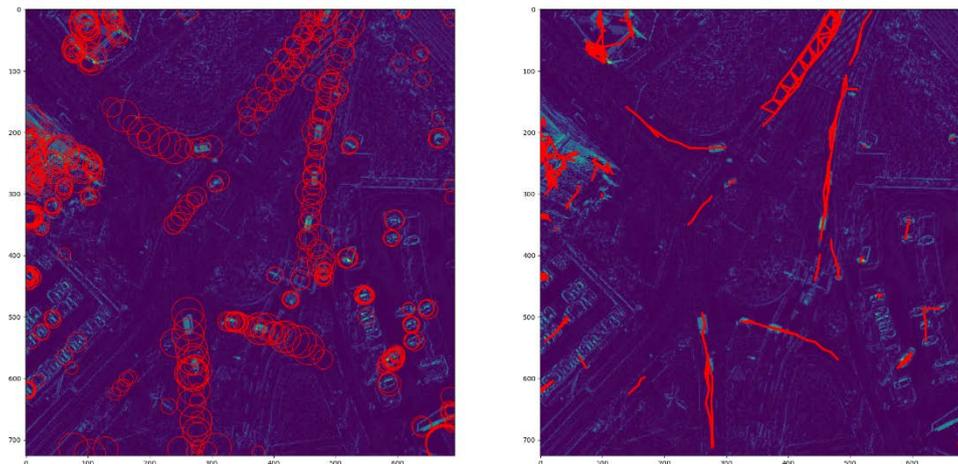


Abbildung 2-4: Ergebnis der Blobanalyse aller Bilder (links) und aus sich überlappenden Blobs extrahierte Linien (rechts)

Die entstandenen Linien wurden entsprechend des Schnittwinkels miteinander gefiltert, sodass weniger Doppelungen und Kreuzungen zwischen den Linien auftreten und eine Art Trajektorie als Ergebnis der Objektverfolgung extrahiert werden konnte. Dies ist in nachfolgender Abbildung 2-5 dargestellt.

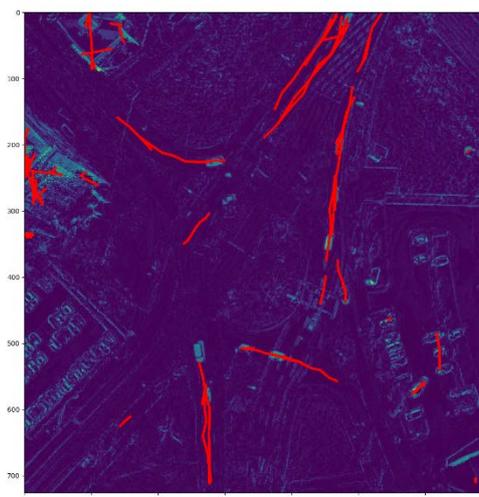


Abbildung 2-5: Ergebnis der Objektverfolgung durch Verbinden von detektierten Blobs

2.1.4 Erzielte Ergebnisse

Auswertung der Videoaufnahmen des Flugzeuges

Bei der Analyse der Videodaten konnten erste Trajektorien für alle größeren bewegten Objekte extrahiert werden. Die Analyse zeigte auf, dass für eine genaue Extraktion von Trajektorien für die Objektverfolgung eine gute Georeferenzierung nötig ist. Diese hing nicht nur von der Genauigkeit bei der Auswahl der Verknüpfungspunkte für die Affin-Transformation, sondern auch von der Auflösung und Stabilität der Kamera am Flugzeug ab.

Die fehlerhaft gefundenen Blobs abseits der Straße (siehe Pixel links in Abbildung 2-3) resultieren aus Verzerrungen durch die Änderung des Blickwinkels bei der Aufnahme der Videodaten und

Erschütterungen. Da sich diese Bereiche über alle Bilder hinweg verändern, konnten sie beim Erzeugen eines Differenz- bzw. Hintergrundbildes nicht entfernt werden.

Die gewählte Methode eignet sich aufgrund der Verzerrungen und der fehlerbehafteten Affin-Transformation eher für größere bewegte Objekte wie Autos. Kleinere Objekte (Radfahrer, Fußgänger) können nicht vom Rauschen auf den Bildern unterschieden und somit auch nicht als Blobs erkannt werden, da die Festlegung eines Schwellwerts bei der Blobanalyse verhindert, dass das Rauschen die Extraktion von großen Objekten verschlechtert.

Für die Erkennung von Radfahrern und Fußgängern wäre eine bessere Auflösung nötig, entweder durch eine tiefere Flughöhe oder durch bessere Kameras. Zudem könnten auch Verfahren ausgetestet werden, die auf den vorgestellten Machine-Learning-Algorithmen basieren. Diese benötigen aber eine deutlich größere Datenlage, auf dem die Modelle trainiert werden könnten. Auf Grund der nur exemplarischen Form dieser Studie konnte keine größere Menge an Daten generiert werden, um zuverlässig KI-basierte Algorithmen anlernen zu können.

Am Flugzeug waren zwei unterschiedliche Kameras befestigt, welche Videodateien aufgenommen haben. Es handelte sich bei den Kameras um eine DJI „Osmo Action“ und eine GoPro 9. Für jede Kamera werden jeweils drei Videosequenzen für unterschiedliche Flughöhen des Flugzeuges ausgewertet, um die Auflösung sowie Zeitspanne erfasster beweglicher Objekte zu bewerten.

Die erste analysierte Videosequenz der Kamera DJI „Osmo Action“ ist Sequenz 3 der Videonummer DJI_0238_001.MP4, da hier die Flughöhe des Flugzeuges am geringsten war. In dieser Sequenz ist die betrachtete Kreuzung für lediglich 7 s zu sehen, in welcher sich keine Fußgänger und Radfahrer an der Kreuzung befinden. Die PKWs werden durchschnittlich für 6 s erfasst. Ein Radfahrer überquert in Sequenz 1 des gleichen Videofiles die Kreuzung. Dieser ist aus einer Flughöhe von etwa 500 m gut erkennbar und in nachfolgender Abbildung 2-6 hervorgehoben.

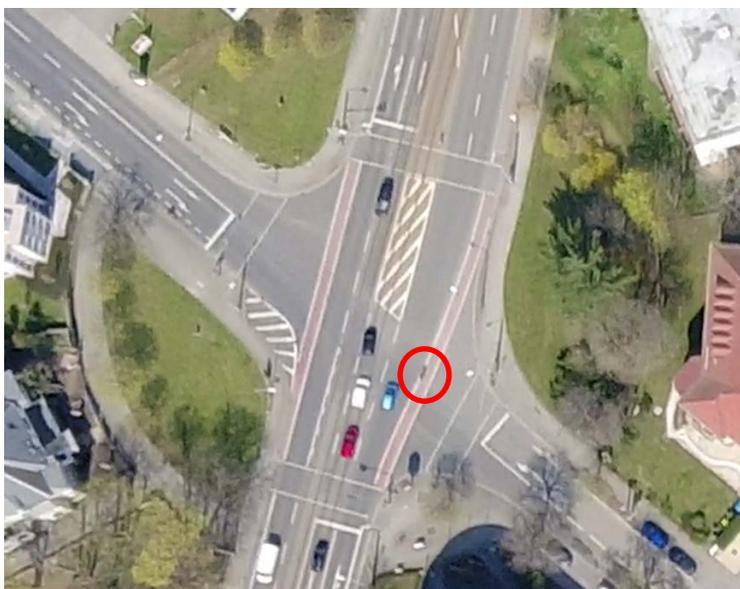


Abbildung 2-6: Screenshot aus Sequenz 1 des Videofiles DJI_0238_001.MP4 mit Radfahrer

In der zweiten Videosequenz beträgt die Flughöhe ungefähr 600 m. Hier ist die betrachtete Kreuzung für eine Zeitspanne von etwa 12 s im Video zu sehen. PKWs werden durchschnittlich 10 s lang erfasst. In dieser Videosequenz und auch in den anderen Sequenzen dieser Flughöhe kreuzen keine Fußgänger und Radfahrer die Kreuzung.

In der höchsten Flughöhe von mehr als 700 m ist die Kreuzung am längsten in der Videosequenz zu sehen. PKWs werden in dieser Höhe gemäß nachfolgender Tabelle 2-4 mit durchschnittlich 11 s in dem analysierten Video 3 am längsten erfasst. Dies beruht auf der Tatsache, dass der betrachtete Knotenpunkt mit steigender Flughöhe länger im Videoausschnitt zu sehen ist. Im analysierten Video queren keine Fußgänger und Radfahrer den Knotenpunkt.

In Sequenz 1 dieses Videofiles nähern sich zwei Radfahrer der Kreuzung an. Diese sind auch aus mehr als 700 m Höhe erkennbar. Ein Screenshot dieser Videosequenz ist in nachfolgender Abbildung 2-7 dargestellt und hebt die Radfahrer hervor.

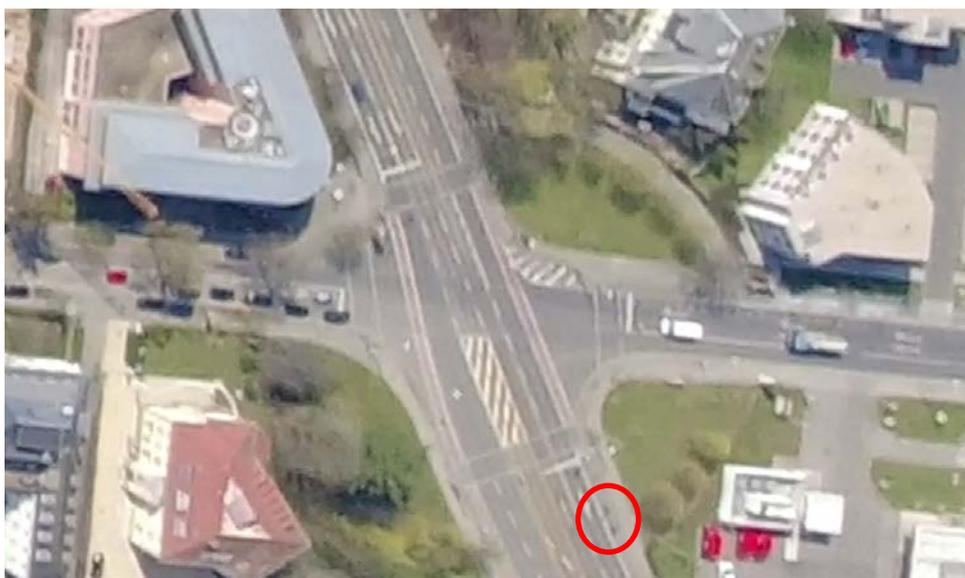


Abbildung 2-7: Radfahrer aus mehr als 700 m Höhe

Die Auswertungen der zweiten Kamera, der GoPro9, werden nachfolgend erläutert. In nachfolgender Tabelle 2-5 werden die analysierten Videosequenzen aufgeführt. Die drei verschiedenen Flughöhen wurden annähernd gleich zu denen der „DJI Osmo Action“ ausgewählt.

Analog zu den Auswertungen der DJI Osmo Action ist die betrachtete Kreuzung in der ersten Videosequenz der GoPro9 in der geringsten Flughöhe von ca. 475 m über eine Zeitspanne von 5 s am kürzesten zu sehen. PKWs werden im Mittel für einen Zeitraum von 4 s erfasst. Weiterhin nähern sich zwei Radfahrer der Kreuzung aus Richtung Strehleener Platz an. Diese werden für 4 s aufgenommen und sind in nachfolgender Abbildung 2-8 rot umkreist.

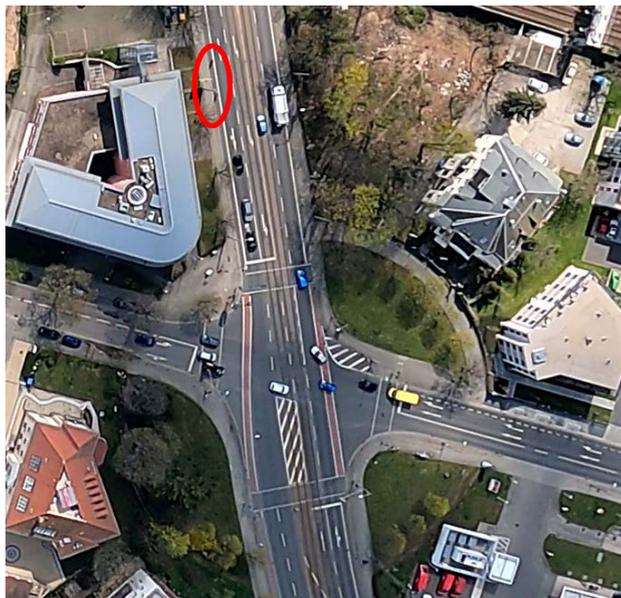


Abbildung 2-8: Screenshot des ersten analysierten Videos mit hervorgehobenen Radfahrern

In nächst höherer Flughöhe von ca. 600 m in Videosequenz 2 sind die PKWs im Mittel für 9 s zu erkennen. Fußgänger und Radfahrer befinden sich in diesem Zeitraum nicht an der Kreuzung.

In der dritten analysierten Videosequenz in einer Flughöhe von mehr als 700 m ist die betrachtete Kreuzung analog zu den Auswertungen der DJI „Osmo Action“ für den längsten Zeitraum von 11 s zu sehen. PKWs werden für einen Zeitraum von 10 s erfasst. Weiterhin quert ein Zweirad die Kreuzung. Bei diesem kann aus mehr als 700 m Höhe nicht zwischen einem Fahrrad oder einem motorisierten Zweirad differenziert werden. Das Objekt ist in nachfolgender Abbildung 2-9 hervorgehoben.



Abbildung 2-9: nicht identifizierbares Zweirad aus mehr als 700 m Höhe

Zusammenfassung Aufnahmen aus Leichtflugzeug

In allen Videoaufnahmen beider Kamerasysteme waren PKWs und größere Fahrzeuge gut zu erkennen. Radfahrer und Fußgänger waren vor allem in niedriger Flughöhe bis 500 m gut identifizierbar. In Flughöhen darüber waren diese nur noch sehr schwer bzw. gar nicht mehr zu erkennen und nicht immer von motorisierten Zweirädern zuverlässig abzugrenzen.

Aufgrund der hohen Geschwindigkeit des Flugzeuges war die betrachtete Kreuzung nur für eine kurze Zeitspanne in den Videosequenzen zu sehen. Besonders in geringer Flughöhe bis 500 m war die Kreuzung bei beiden Kameras lediglich für 5 bis 7 s zu sehen. Die maximale Zeitspanne der erfassten Objekte konnte in Abhängigkeit von diesem Zeitfenster dementsprechend auch nur gering ausfallen. Mit steigender Flughöhe vergrößerte sich der Bildausschnitt und folglich waren sowohl die Kreuzung als auch die Beteiligten länger zu sehen. Die erfasste Zeitspanne war darüber hinaus auch vom Flugmanöver des Luftfahrzeuges abhängig.

Nachfolgende Tabelle 2-4 und Tabelle 2-5 führen jeweils die drei analysierten Videosequenzen der DJI „Osmo Action“ und der GoPro 9 auf. Ausgewertet wird die Zeitspanne in [s] der erfassten Objekte für die Objekttypen PKW, Radfahrer und Fußgänger mit steigender Flughöhe des Flugzeuges. Liegt kein Eintrag in der Tabelle vor, ist in dieser Videosequenz entweder kein Beteiligter vorhanden oder erkennbar. Die einzelnen analysierten Sequenzen wurden entsprechend eines möglichst zentralen Überflugs der betrachteten Kreuzung sowie einer möglichst geringen Rotation des LFZ ausgewählt.

Tabelle 2-4: beispielhafte Auswertungen der DJI Osmo Action

Nr.	Video	Sequenz	Flughöhe	durchschnittliche Zeitspanne erfasster		
				PKW	Radfahrer	Fußgänger
1	DJI_0238_001.MP4	3	407-423 m	6 s	-	-
2	DJI_0239_001.MP4	2	595-603 m	10 s	-	-
3	DJI_0240_001.MP4	3	748-759 m	11 s	-	-

Tabelle 2-5: beispielhafte Auswertungen der GoPro9

Nr.	Video	Sequenz	Flughöhe	durchschnittliche Zeitspanne erfasster		
				PKW	Radfahrer	Fußgänger
1	GH010071.MP4	1	475-476 m	4 s	4 s	-
2	GH010072.MP4	2	596-603 m	9 s	-	-
3	GH010073.MP4	1	716-729 m	10 s	-	-

Auswertung der Drohnenaufnahmen

Erhobene Objekte

Die aufgenommenen Videodateien der eingesetzten Drohne wurden von der Firma DataFromSky analysiert, welche auf die Auswertung von Verkehrssituationen verschiedenster statischer Videodateien spezialisiert ist. Hierbei wurden alle 57 Videodateien einer Erstanalyse unterzogen. Bei dieser wurden soweit möglich alle beweglichen Objekte identifiziert. Unterschieden wurden hierbei die Objekttypen „Car“, „Heavy Vehicle“, „Medium Vehicle“, „Bicycle“, „Pedestrian“ und „Bus“. Die Objekte erhielten in jeder Videodatei eine fortlaufende Track ID, welche von der ersten bis zur letzten Image ID der erfassten Zeitspanne angezeigt wird. Eine Image ID entspricht dabei einer Zeiteinheit von 40 ms. Für die getrackte Zeit des jeweiligen Objektes lässt sich die Trajektorie darstellen und die aktuelle Geschwindigkeit sowie die Beschleunigung ausweisen. Nachfolgende Abbildung 2-10 zeigt den Bildausschnitt der Kamera der Drohne mit den identifizierten Objekten und der beispielhaft dargestellten Trajektorie einschließlich mitgelieferter Informationen des identifizierten PKW mit der ID 39. Die Flughöhe der Drohne lag bei 53,6m.

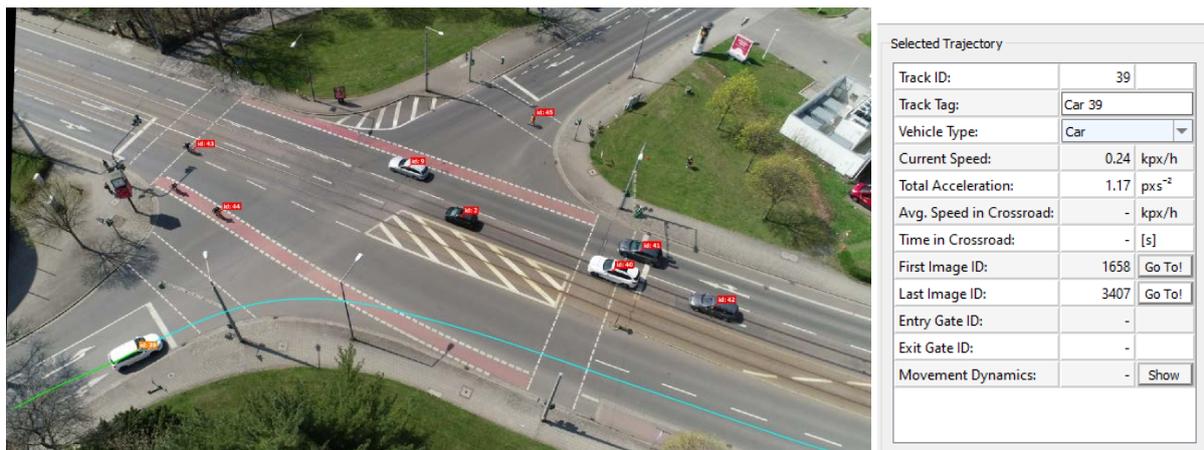


Abbildung 2-10: Beispielbild der analysierten Drohnenaufnahmen

Erhebungsdauer

Da die Drohne den Knotenpunkt an vorher festgelegten Koordinaten von der gleichen Position mit einer Kamera gefilmt hat, wurde ein Video hinsichtlich der Länge der erfassten Zeitspannen der identifizierten Objektarten PKW, Fußgänger und Radfahrer untersucht. Nachfolgende Tabelle 2-6 stellt die Zeitspannen für zehn beispielhaft ausgewählte Objekte der Objektarten PKW, Fußgänger und Radfahrer sowie deren jeweiligen Mittelwert in [s] des Video 1 dar.

Tabelle 2-6: beispielhaft aufgeführte Zeitspannen [s] erfasster Objekte aus Video 1 mit Mittelwert

PKW		Fußgänger		Radfahrer	
Objekt ID	Zeitspanne [s]	Objekt ID	Zeitspanne [s]	Objekt ID	Zeitspanne [s]
39	70	45	11	25	5
75	18	50	2	43	27
76	27	83	25	52	5
77	9	100	18	54	7
78	26	133	28	99	7
79	26	140	12	101	10
80	8	149	9	161	4
81	11	152	17	165	8
82	15	157	9	167	17
84	17	164	6	168	6
Ø 22,696		Ø 13,792		Ø 9,532	

Gemäß der in vorangegangener Tabelle 2-6 aufgeführten Werte wurden PKWs am längsten erfasst, gefolgt von Fußgängern und Radfahrern. Dies resultierte aus der Tatsache, dass PKWs auch während des Haltevorgangs erfasst wurden. Der PKW mit der ID 39 wartete von den erfassten 70 s beispielsweise 56 s an der roten Ampel, welches die hohe Trackingzeitspanne erklärte. Grundsätzlich war die Trackingzeitspanne weiter abhängig vom Fahrmanöver. Objekte, die die Kreuzung geradeaus überquerten, unterschieden sich hierbei deutlich von Objekten, die einen Abbiegevorgang durchführten. Dies zeigte sich u. a. bei den Radfahrern. Während alle die Kreuzung geradeaus querenden Radfahrer für maximal 10 s erfasst wurden, wurde der Radfahrer mit der ID 43 mit 27 s in dieser beispielhaften Auflistung in Tabelle 2-6 am längsten erfasst. Dieser führte wie in nachfolgender Abbildung 2-11 dargestellt einen Abbiegevorgang mit Halt durch. Der Radfahrer der ID 167 bildete ebenfalls eine Ausnahme, da auch er beim Halten erfasst wurde.

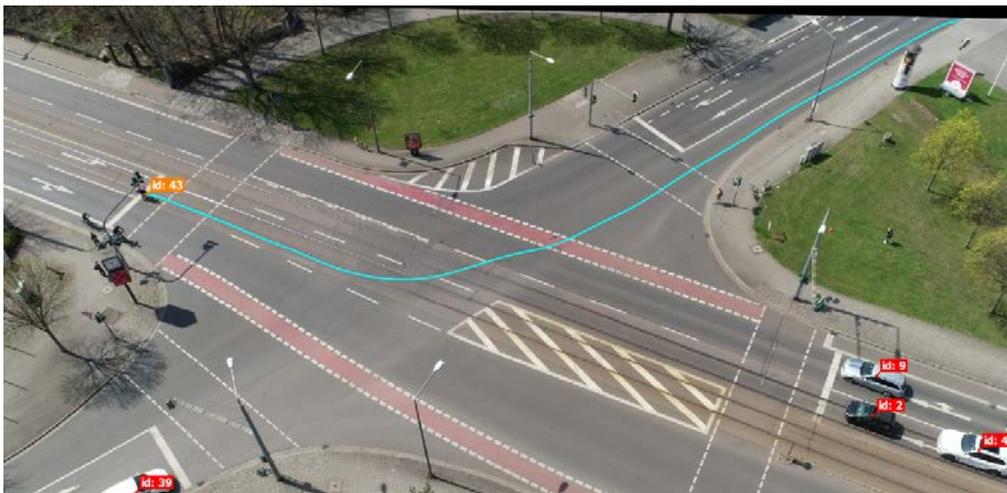


Abbildung 2-11: Abbiegender Radfahrer der ID 43 in Video 1

Fußgänger wurden länger als Radfahrer erfasst, da sie sich in der Regel langsamer fortbewegten als Radfahrer. Eine Ausnahme bildete hier der gelistete Fußgänger mit ID 50, welcher rennend für lediglich 2 s erfasst wurde.

Neben den typischen Verkehrsteilnehmern wie PKW, Radfahrer oder Fußgänger wurden auch neue Verkehrsteilnehmer wie Elektrokleinstfahrzeuge erfasst. Die getrackten Fahrer auf E-Rollern wurden hierbei mit dem Objekttyp „Bicycle“ deklariert und sind beispielhaft in nachfolgender Abbildung 2-12 dargestellt.



Abbildung 2-12: Erfasste E-Roller, Beispielbild

Erhebungsmängel

Bei der Sichtung des analysierten Videomaterials wurden außerdem Herausforderungen hinsichtlich der Identifikation von Objekten festgestellt. Einige Beteiligte erhielten zwei unterschiedliche IDs. Dies war überwiegend der Fall, wenn das Objekt an die Kreuzung anfuhr und hielt. In diesem Moment endete die Erfassung des Objektes und beim Anfahren erhielt der identische Beteiligte eine neue, zweite ID.

Weiterhin stellten Schatten von Bäumen, Masten oder Gebäuden eine Herausforderung bei der Erkennung von v. a. Fußgängern und Radfahrern dar. Gleiches galt für Sichthindernisse wie beispielsweise Masten von Lampen oder Ampeln. Bewegliche Objekte wurden hier meist erst nach dem Hervorkommen des Sichthindernisses erkannt. Nachfolgende Abbildung 2-13 stellt dies

beispielhaft für einen Fußgänger dar. Ein weiteres Beispiel ist in vorangegangener Abbildung 2-11 zu erkennen, in welcher die Erfassung des Radfahrers erst beim Einfahren in die Kreuzung begann.



Abbildung 2-13: Herausforderung der Objekterkennung bei Sichthindernissen, Beispielbild

Darüber hinaus erhielten dicht aneinander fahrende Radfahrer sowie nebeneinander laufende Fußgänger meist nur eine ID. Nachfolgende Abbildung 2-14 stellt dies beispielhaft dar. Zwei Fußgänger überquerten hierbei die Kreuzung. Identifiziert wurde allerdings nur ein bewegliches Objekt mit der ID 149.

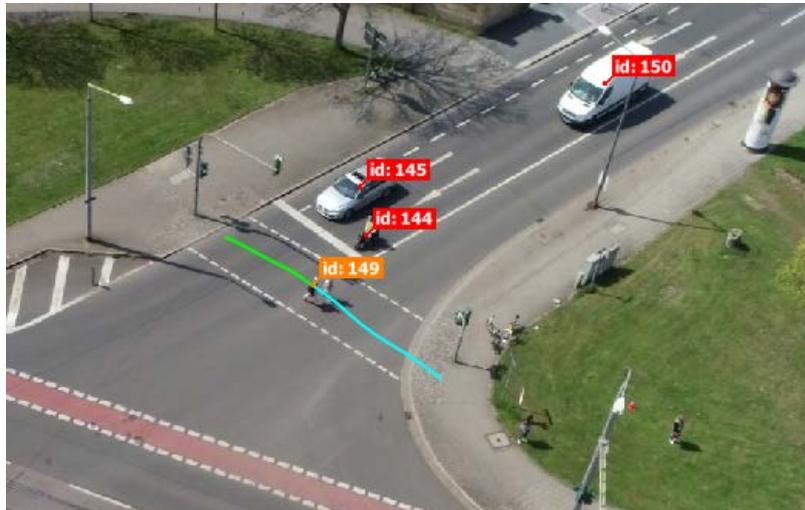


Abbildung 2-14: Herausforderung dicht aneinander befindlicher Fußgänger, Beispielbild

Auf Teilstrecken bei Annäherung an die Kreuzung oder beim Überqueren der Kreuzung wurden Fußgänger und Radfahrer teilweise gar nicht erkannt und ihre Trajektorie endete auf der Fahrbahn. Nachfolgende Abbildung 2-15 zeigte einen beispielhaften Bildausschnitt eines hiervon betroffenen Fußgängers.



Abbildung 2-15: Fußgängererkennung endet auf Straße, Beispielbild

Nach Sichtung der Videoaufnahmen hinsichtlich erfasster kritischer Situationen wurden fünf der Videos durch DataFromSky einer weiteren Detailanalyse unterzogen, um das Verhalten der einzelnen Verkehrsteilnehmer noch genauer nachvollziehen zu können. Die detailliert analysierten Videos sind nachfolgender Tabelle 2-7 zu entnehmen, welche die Unterschiede hinsichtlich der Anzahl erfasster Objekte zwischen Erst- und Detailanalyse zeigt.

Tabelle 2-7: Unterschiede zwischen Erst- und Detailanalyse bzgl. der Anzahl erfasster Objekte

Videonummer	Erstanalyse [Anzahl erfasster Objekte]	Detailanalyse [Anzahl erfasster Objekte]	Differenz [Anzahl erfasster Objekte]
27	272	272	0
31	311	312	1
33	273	276	3
34	274	275	1
52	265	266	1

Gemäß vorangegangener Tabelle 2-7 ist die Differenz bezüglich der Anzahl erfasster Objekte zwischen Erst- und Detailanalyse sehr gering oder nicht vorhanden. Dies zeigt, dass die Auswertungen der Erstanalyse bereits sehr detailliert sind.

Zusammenfassung Aufnahmen aus Drohne

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass die Trackinggenauigkeit für PKWs am höchsten ist. Allgemein war festzuhalten, dass die Videoaufnahmen der Drohnen sehr detailliert sind und die Detektion der verschiedenen Verkehrsteilnehmer wie PKW, LKW, Straßenbahn, Fußgänger, Radfahrer und Nutzer von Elektrokleinstfahrzeugen erlauben.

Vergleich der Videoaufnahmen von Drohne und Flugzeug

Der größte Unterschied der Videoaufnahmen von Drohne und Flugzeug liegt in der Art der Aufnahme. Während die Drohne von einer festgelegten Position aus stationär den vordefinierten Bildausschnitt des Knotenpunkts filmte, flog das Flugzeug mit hoher Geschwindigkeit über den Knotenpunkt hinweg, sodass diese nur für eine im Vergleich zur Drohne kurze Zeitspanne über wenige Sekunden in den Aufnahmen zu sehen ist. Das Flugzeug flog darüber hinaus in viel größeren Höhen als die Drohne,

wodurch die Auflösung der Aufnahmen qualitativ schlechter war. Der Vorteil besteht hingegen darin, dass die Annäherungsphase der Verkehrsteilnehmer an den Knotenpunkt miterfasst werden kann.

Weiterhin wurde das Flugzeug manuell von einem Piloten gesteuert, sodass sich Rotationen des Flugzeuges aufgrund verschiedener Flugmanöver oder Erschütterungen durch Luftdruckveränderungen in den Videoaufnahmen der Kameras widerspiegeln. Demgegenüber filmte die Drohne ruhig und ohne Positionsveränderungen den betrachteten Knotenpunkt. Allerdings war es aus Sicherheits- und Rechtsgründen nicht möglich, mit der Drohne direkt über dem Knotenpunkt zu fliegen. Sie filmte stattdessen von der Seite aus, wodurch sich die Herausforderung einiger Sichthindernisse ergab. Dem Flugzeug war es wiederum möglich, den Knotenpunkt aus höherer Höhe fast direkt zu überfliegen und eine Draufsicht zu erreichen.

Der Vorteil der Drohne ist, dass sie das Verkehrsgeschehen eines Knotenpunkts beständig filmt. Dies ist gleichzeitig ein Nachteil, da es nur ein Knotenpunkt ist, welcher speziell ausgewählt werden muss. Das Flugzeug filmt hingegen während des Fluges mehrere Knotenpunkte, aber keinen Knotenpunkt auf Dauer.

Die Drohne filmt auf niedrigerer Flughöhe als das Leichtflugzeug. In der Folge können VRU in diesen Videosequenzen erkannt und getrackt werden und vor allem unterschiedlichen Objektklassen zugeordnet werden. Dabei gilt es jedoch insbesondere bei VRU einige Ursachen von Fehldetektionen zu beachten und zu korrigieren (Trajektorienabbrüche und Beginn bei Sichthindernissen, Detektion nur eines Objekts bei räumlich nahen VRU, Fehldetektion bei E-Scootern)

Bezüglich der Aufnahmezeit können in den Aufnahmen der Drohnen die Verkehrsteilnehmer deutlich länger aufgenommen werden im Vergleich zu den Aufnahmen aus dem Leichtflugzeug. Allerdings gilt es dabei zu beachten, dass dies hauptsächlich auf Wartezeiten am Knotenpunkt zurückzuführen ist. Zusätzlich ist die Auflösung der Drohne detaillierter und ermöglicht die Detektion von verschiedenen Verkehrsteilnehmern wie PKW, LKW, Straßenbahn, Radfahrer, Fußgänger sowie Nutzer von Elektrokleinstfahrzeugen.

Fazit

Zusammenfassend wurde festgestellt, dass die Aufnahmen aus dem Flugzeug einen größeren Weitwinkel besitzen als die Drohnenaufnahmen. Damit ist die Einlaufphase der Verkehrsteilnehmer länger sichtbar als bei den Drohnenaufnahmen. Allerdings verfügen die Kameras an dem Leichtflugzeug über weniger Stabilität. Zudem werden die Aufnahmen aus größerer Höhe gemacht als mit der Drohne, was zu Verlusten in der Videoqualität führt. Die Drohne hingegen liefert sehr stabile Aufnahmen und aufgrund der geringeren Flughöhe auch in höherer Auflösung als die Videoaufnahmen des Leichtflugzeuges. Dies ermöglicht eine einfachere Detektion der Verkehrsteilnehmer. Zudem ist der Referenzpunkt bei den Drohnenaufnahmen immer gleich, was einen längeren Beobachtungsausschnitt ermöglicht. Für die Überflüge der Unfallschwerpunkte mit dem Leichtflugzeug waren die entsprechenden Erlaubnisgenehmigungen recht unkompliziert zu bekommen, für die Drohne war der Erlaubnisprozess hingegen aufwändiger. Zudem ist das generelle Anbringen von Kamerasystemen an bemannten Luftfahrzeugen genehmigungspflichtig und mit einem langwierigen Zulassungsprozess verbunden. Daher ist die Langfristprognose für eine flächendeckende Ausrüstung von bemannten Luftfahrzeugen mit Kamerasystemen zur Verkehrsbeobachtung unsicher. Drohnen hingegen verfügen bereits über integrierte Kamerasysteme.

Als Ergebnis werden die Drohnen als sinnvoller Beobachtungsmittel für Verkehrsbeobachtungen aus der Luft angesehen.

2.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Bitte das entsprechende Dokument zum zahlenmäßigen Nachweis dazu vergleichen.

Tabelle 2-8: zahlenmäßiger Nachweis

Position	Benennung im Antrag (AZK/AZA)	Verwendung
Fremdleistungen	Unterauftrag Service GmbH & Co KG 6.000€	Einsatz ausgebildeter Pilot und einsatzbereite Drohne für die Befliegungen des ausgewählten Unfallschwerpunktes im Dresdner Stadtgebiet
Fremdleistungen	Unterauftrag Flightlevel 3.1000€	Einsatz ausgebildeter Pilot und einsatzbereites Leichtflugzeug für die Befliegungen der beiden ausgewählten Unfallschwerpunkte im Dresdner Stadtgebiet

2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das Projekt ARCADIA konnte nicht allein aus Eigenmitteln des Fraunhofer IVI finanziert werden. Das Fraunhofer IVI als Teil der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Wissenschaft e.V. darf als gemeinnütziger Verein keine Gewinne erwirtschaften. Per se standen diesem Projektpartner nicht genug finanzielle Ressourcen zur eigenständigen finanziellen Durchführung des Forschungsprojektes zur Verfügung. Das Fraunhofer IVI und die beiden involvierten Unterauftragnehmer sahen durch die Zusammenarbeit eine Grundlage für ihre weitere finanzielle Entwicklung, da die Projektergebnisse die Generierung weiterer öffentlicher und privater Projektaufträge versprechen. Des Weiteren barg das Projekt auch nicht abschätzbare finanzielle Risiken, die das Fraunhofer IVI ohne Förderung nicht abfangen konnte. So war vor Projektstart nicht vollständig einzuschätzen, ob die Datenkommunikation bei der geplanten großen zu erhebenden Datenmenge funktionieren würde. Auch war nicht vorhersehbar, ob aus den vorhandenen Videodaten tatsächlich reale Unfälle extrahiert werden können und deren Datenqualität dann ausreichend ist, um verwertbare Szenarien zu generieren und Fahrverhaltensparameter abzuleiten, welche ein Erstellung synthetischer Fahrscenarien ermöglicht. Diese Punkte zeigen, dass das Fraunhofer IVI vor Projektstart keine Garantie geben konnte, ob das Projekt zum versprochenen Erfolg wird. Dieses wirtschaftliche und wissenschaftliche Risiko konnten weder das Fraunhofer IVI noch die beiden Unterauftragnehmer Airclip Service GmbH & Co KG und Flightlevel allein tragen. Daher wurde das Projekt als Verbund des Projektpartners Fraunhofer IVI sowie der beiden genannten Unterauftragnehmer durchgeführt und eine finanzielle Förderung beantragt.

ARCADIA hat mit den gewonnenen Projektergebnissen die technische Grundlage geschaffen, prototypisch Trajektorien insbesondere von VRU abzuleiten und in Fahrscenarien zu überführen. Zudem konnten aus den erhobenen Trajektorien wertvolle Informationen zum Fahrverhalten von VRU abgeleitet werden, welche wiederum helfen synthetische Fahrscenarien aus statistisch möglichen Variationen der erhobenen Original-Fahrscenarien abzuleiten.

Diese Fahrscenarien bilden die Grundlage für das digitale Testen von Assistenzsystemen und autonomen Fahrfunktionen. Die Ergebnisse aus ARCADIA tragen somit auf lange Sicht zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit in Deutschland durch derartige Systeme bei. Davon profitieren langfristig alle am Verkehr teilnehmenden Personen in Deutschland sowie deutsche Krankenkassen und Unfallkassen etc. Die Projektergebnisse aus ARCADIA stellen somit ein erhebliches Bundesinteresse dar.

Insbesondere wurde der Fokus in ARCADIA auf VRU gelegt, sodass zukünftig der Schutz der schwächeren Verkehrsteilnehmer bei der Entwicklung von Assistenzsystemen mit einbezogen werden kann. Dies ist bspw. relevant in der Kalibrierung von Sensoren, welche VRU erkennen sollen und als Eingangssignal für anschließende Aktionen (bremsen, ausweichen etc.) dienen. Dadurch fehlen

einerseits Informationen zu notwendig abzudeckenden Sichtbereichen und -winkeln, um Detektoren und Sensoren für VRU besser zu kalibrieren und andererseits repräsentative Szenarien, um die Funktionalität der Systeme digital testen zu können.

Die Förderung dieser Machbarkeitsstudie vereinfachte und beschleunigte die Schaffung der technischen Voraussetzungen für die zukünftige Erhebung von Unfallszenarien und Szenarien mit kritischen Verkehrssituationen aus der Luft. Ohne diese Förderung hätte der Projektpartner Fraunhofer IVI dieses geplante Forschungsvorhaben nicht in dem geplanten finanziellen und inhaltlichen Umfang allein umsetzen können. Die gewonnenen Projektergebnisse aus ARCADIA können weiterverwendet werden und beispielsweise in einem Folgeantrag als Basis für Analysen zum realen Verhalten verschiedener Verkehrsteilnehmer und realer Unfälle dienen. Die Kombination dieser Ergebnisse kann dann maßgeblich die deutschen OEM-Hersteller (Original Equipment Manufacturer) für Fahrerassistenzsysteme an die Spitze der Entwicklungen führen, besonders unter dem Gesichtspunkt eines ganzheitlich betrachteten Verkehrsgeschehens. Ohne verlässliche Daten zum realen Verkehrsverhalten wird es keinem deutschen OEM zukünftig gelingen, Assistenzsysteme und autonome Fahrfunktionen wirtschaftlich genehmigen zu lassen und in den Markt einzuführen.

ARCADIA gab einen ersten technischen Überblick über die Erhebungsqualität des Fahrverhaltens und der Trajektorien vor allem von VRU zu denen bis zum heutigen Zeitpunkt noch detaillierte Informationen zum Fahrverhalten fehlten

2.4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Tabelle 2-9: Verwertung

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Detektion und Analyse von realen Unfällen und kritischen Situationen im Straßenverkehr	Fraunhofer IVI: Schaffung eines umfangreichen Datensatzes an Videoaufnahmen von realen Unfallsituationen und kritischen Situationen und zugehörigen Verhaltensparametern. Grundlage für die Weiterverwendung in Forschungsprojekten zur Funktionalität von Assistenzsystemen und Generierung synthetischer Fahrszenarien anhand statistisch relevanter Variation von Fahrverhaltensparametern in Original-Fahrszenarien
Erkenntnisse zu realem Unfallgeschehen inklusive Detektion kritischer Unfälleinlaufphase	Automobilhersteller / Zuliefererfirmen für Assistenzsysteme: Virtuelles Testen von Fahrerassistenzsystemen oder automatisierten Fahrfunktionen
Schaffen der technischen Voraussetzungen für die künftige Verkehrsbeobachtung aus der Luft	Fraunhofer IVI: Weiterverwertung der gewonnenen Erkenntnisse in einem Folge-Forschungsprojekt; Beschleunigung der Automatisierung der Fahrszenarienerstellung aus Luftaufnahmen
Entwicklung erster Ansätze zur Objektidentifikation und -verfolgung in den extrahierten Videodaten	Fraunhofer IVI: Weiterverwertung der gewonnenen Erkenntnisse in einem Folge-Forschungsprojekt; Beschleunigung der Automatisierung der Fahrszenarienerstellung aus Luftaufnahmen

2.5. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Nicht zutreffend

2.6. Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses

Nicht zutreffend

Literaturverzeichnis

- [1] VCD Verkehrsclub Deutschland e.V.: *Vision Zero. Zeit für null Verkehrstote*. Online unter URL: <https://www.vcd.org/themen/verkehrssicherheit/vision-zero/>, abgerufen am 29.09.2020, 13:23 Uhr
- [2] Euro NCAP: *Euro NCAP 2025 Roadmap – In Pursuit of Vision Zero*. Online unter URL: <https://cdn.euroncap.com/media/30700/euroncap-roadmap-2025-v4.pdf>, abgerufen am 30.04.2020, 11:14 Uhr
- [3] EuroNCAP: *Fahrerassistenznoten 2020*. Online unter URL: <https://www.euroncap.com/de/bewertungen-u-auszeichnungen/fahrerassistenz-noten/>, abgerufen am 06.10.2020, 14:57 Uhr
- [4] Erbsmehl, C.T.; Ferson, N.; Landgraf, T.; Lubbe, N.; Urban, M.; Yuasa, H.: Analysis and investigation method for all traffic scenarios (AIMATS), ESAR-Conference, 2016
- [5] Erbsmehl, C.T.; Licht, T., Mallada, J: How to link accident data and road traffic measurements to enable ADAS/AD simulation? FAST zero ´19, 2019
- [6] Deutsche Flugsicherung (DFS): *Kontrollzone Flughafen Dresden (EDDC)*. Online unter URL: https://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Drohnenflug/Karten%20%20Flugh%3%A4fen/Flugh%3%A4fen%20der%20DFS/EDDC.pdf, abgerufen am 07.10.2020, 10:50 Uhr
- [7] GoPro: Hero 8 Black, online unter URL: <https://gopro.com/de/de/shop/cameras/hero8-black/CHDX-801-master.html/#hero8black>. Abgerufen am 27.04.2020, 21:22 Uhr
- [8] DJI: Osmo Action, online unter URL: <https://www.dji.com/de/osmo-action>, abgerufen am 29.04.2020, 20:45 Uhr
- [9] Panasonic: Lumix DMC FZ-1000, online unter URL: <https://www.panasonic.com/de/consumer/foto-video/lumix-kompaktkameras/dmc-fz1000.specs.html>, abgerufen am 29.04.2020, 20:50 Uhr
- [10] Airclip Service GmbH & Co KG: DJI P4P Plus V2.0, online unter URL: <https://www.airclip.de/product/DJI-P4P-Plus-V20>, abgerufen am 29.04.2020, 20:55 Uhr
- [11] Airclip Service GmbH & Co KG: DJI Mavic 2 Pro, online unter URL: <https://www.airclip.de/product/DJI-Mavic-2-Pro>, abgerufen am 29.04.2020, 20:57 Uhr
- [12] Lotze, M: Verifizierung von Infrarotkamarasystemen zur Verkehrsüberwachung, Technische Universität Dresden, Diplomarbeit, 03.12.2018
- [13] Stemmer Imaging: Rolling und Global Shutter (CMOS-Sensoren), online abgerufen unter: <https://www.stemmer-imaging.com/de-de/grundlagen/rolling-shutter/>, abgerufen am 29.04.2020, 21:12 Uhr

- [14] B&H: Rolling Shutter versus Global Shutter, online unter URL: <https://www.bhphotovideo.com/explora/video/tips-and-solutions/rolling-shutter-versus-global-shutter>, abgerufen am 29.04.2020, 21:17 Uhr
- [15] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR): DLRAD. Online unter URL: <https://elib.dlr.de/120498/>, abgerufen am 03.03.2020, 16:41 Uhr
- [16] fka GmbH: Aktuelle Meldungen. Drohnen unterstützen bei der Absicherung automatisierter Fahrfunktionen. Online unter URL: <https://www.fka.de/de/aktuell/pressemitteilungen/425-drohnen-unterst%C3%BCtzen-bei-der-absicherung-automatisierter-fahrfunktionen.html>, abgerufen am 03.03.2020, 11:52 Uhr
- [17] Verykokou, Styliani; Ioannidis, Charalabos (2016): Automatic Rough Georeferencing of Multiview Oblique and Vertical Aerial Image Datasets of Urban Scenes. In: *Photogram Rec* 31 (155), S. 281–303. DOI: 10.1111/phor.12156.
- [18] Ahmed Nassar, Karim Amer, Reda ElHakim, Mohamed ElHelw: A Deep CNN-Based Framework for Enhanced Aerial Imagery Registration With Applications to UAV Geolocalization.
- [19] Geniviva, Amanda; Faulring, Jason; Salvaggio, Carl (2014): Automatic georeferencing of imagery from high-resolution, low-altitude, low-cost aerial platforms. In: Matthew F. Pellechia, Kannappan Palaniappan, Shiloh L. Dockstader, Peter J. Doucette und Donnie Self (Hg.): SPIE Defense + Security. Baltimore, Maryland, USA, Monday 5 May 2014: SPIE (SPIE Proceedings), 90890D.
- [20] Lenhart, D.; Hinz, S.; Leitloff, J.; Stilla, U. (2008): Automatic traffic monitoring based on aerial image sequences. In: *Pattern Recognit. Image Anal.* 18 (3), S. 400–405. DOI: 10.1134/S1054661808030061.
- [21] Florian Schmidt, Stefan Hinz (2011): A Scheme for the Detection and Tracking of People Tuned for Aerial Image Sequences.
- [22] R. Bahmanyar, S. M. Azimi, P. Reinartz (2018): Multiple Vehicles And People Tracking In Aerial Imagery Using Stack Of Micro Single-Object-Tracking CNNS.
- [23] Chung-Hsien Huang, Yi-Ta Wu, Jau-Hong Kao, Ming-Yu Shih, and Cheng-Chuan Chou (2010): A Hybrid Moving Object Detection Method for Aerial Images. In: *PCM 2010 Part I* (LNCS 6297), S. 357–368.