

# LUFTBILDERFASSUNG IM RAHMEN EINER KATASTROPHENSCHUTZÜBUNG

G. Schwoch, C. A. Niermann

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
Institut für Flugführung  
Lilienthalplatz 7, 38108 Braunschweig

## Zusammenfassung

*Dieses Paper ist Teil eines Doppel-Vortrags über den Einsatz der DLR Dornier 228 im Projekt DRIVER+ und beinhaltet die technischen Herausforderungen und die Bereitstellung der Luftbilder.*

Keywords: Drohne; RPAS; Luftbilder; Krisenmanagement; Katastrophenschutz; Flugführung

Im EU-Projekt „Driving Innovation in Crisis Management for European Resilience“ (DRIVER+) wurden im Jahr 2019 Versuche (*Trials*) durchgeführt, um neue Technologien im Krisenmanagement zu untersuchen. Ein Trial wurde in Partnerschaft mit der EU-Katastrophenschutzübung IRONORE in Österreich durchgeführt. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) setzte sein Forschungsflugzeug D-CODE vom Typ Dornier 228 zur Demonstration eines unbemannten Luftfahrzeugs zur Erfassung von Luftbildern ein, um Rettungskräfte und Entscheidungsträger vor Ort zu unterstützen. Das Flugzeug wurde als *Optionally Piloted Vehicle* eingesetzt und vom Boden wegpunktbasiert geführt. Das Szenario eines Erdbebens mit verschütteten und vermissten Personen wurde vom Österreichischen Roten Kreuz und weiteren internationalen Rettungsorganisationen entwickelt, vom DLR während der Vorbereitungen begutachtet und im September 2019 in der Stadt Eisenerz in der Steiermark realisiert. Die vorliegende Arbeit beschreibt die Vorbereitungen und Durchführung aus Sicht der Flugführung und Luftbilderfassung und den Nutzen für Rettungskräfte vor Ort aus einer technischen Perspektive. Die Anwendungsfälle einer solchen Mission während einer Katastrophe werden aufgezeigt und auf den Kontext des Projekts überführt. Anschließend wird von den Versuchsvorbereitungen berichtet, die sich wegen lokaler Begebenheiten, wie umgebende Bergketten und wechselhaftes Wetter, als besonders aufwendig erwies. Dabei werden sowohl die notwendigen Vorbereitungen am Fluggerät und dem verwendeten Kamerasystem als auch der Bodeninfrastruktur, einem Datenlink vom Flugzeug zu einer auf einem Berg gelegenen Zwischenstation als Relais zum Kontrollzentrum im Tal, beleuchtet. Die geplante Verwendung der erfassten Kamerabilder, Einbettung in nahezu Echtzeit in der Kartenebene des Missionsplanungstools mittels Georeferenzierung, sowie die erforderliche Trajektorienplanung in der Vorbereitungsphase zur Erfüllung von Missionszielen des vorgegebenen Krisenszenarios werden beschrieben. Anschließend wird von dem eigentlichen Trial an drei aufeinanderfolgenden Tagen berichtet. Mit dem Roten Kreuz wurden drei grobe Missionsziele vereinbart, entsprechende Flugpläne erstellt und während des Trials auf Anweisung der Rettungskräfte dynamisch der aktuellen Situation angepasst. Damit war es möglich, auf aktuelle Ereignisse in der Katastrophenschutzübung oder Nebeneffekte wie Wettereinflüsse zu reagieren. Der Einsatz des Systems im Versuchskontext, flugplanerische Notwendigkeiten aufgrund der geographischen Gegebenheiten in der Berglandschaft und Anpassungen an das System vor Ort werden geschildert. Abschließend wird das System von den Nutzern qualitativ bewertet. Dabei werden vor allem die Qualität der Bilder und der automatische Flug positiv bewertet, während ein höherer Grad der Automatisierung bei der Analyse der Bilder und andere Aufnahmeperspektiven als wünschenswert erachtet werden. Der Nutzen des Systems im Krisenmanagement wird diskutiert, wobei der modulare Aufbau einen flexiblen Einsatz in allen möglichen Situationen erlaubt. Das Paper schließt mit einem Ausblick auf resultierende kommende Forschungsfragen im Kontext des Krisenmanagements ab.

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BKS	Bodenkontrollstation
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
DRIVER+	Driving Innovation in Crisis Management for European Resilience
FMS	Flight Management System
HALE	High altitude long endurance
MALE	Medium altitude long endurance
MSL	Mean sea level
ÖRK	Österreichisches Rotes Kreuz
RPAS	Remotely piloted aircraft system
UKW	Ultrakurzwellen

## 1. EINLEITUNG

Unbemannte Luftfahrzeuge (*remotely piloted aircraft systems*, RPAS) sind aus vielen Bereichen nicht mehr wegzudenken. Beginnend bei Kleinstdrohnen als Hobby über Forschungs- und Einzelfalleinsätze in Überwachung von Infrastruktur, Feldern oder zur Suche von vermissten Tieren oder Personen gehen die Anwendungsfälle bis zu militärischen Zwecken, wie z.B. Aufklärung, mit großen RPAS. Der Grad der Automatisierung variiert dabei ebenso wie die Größe des Fluggeräts: Direkte Steuerung über eine Fernbedienung in Sichtlinie bis hin zu satellitengestützter Führung in großer Entfernung des Fernpiloten zum Fluggerät. Sobald das Fluggerät die Sichtlinie des Piloten

verlässt, ist ein gewisser Automatisierungsgrad unerlässlich.

Abgesehen von Anwendungsfällen von RPAS in der Industrie ist der Einsatz von RPAS im Krisenmanagement und Katastrophenschutz ein breites Forschungsfeld. Besonders zur schnellen Erfassung eines – eventuell beschränkt zugänglichen – Krisengebiets, ohne dabei Personen in Gefahr zu bringen, oder zur großflächigen Kartierung eines Gebiets können RPAS einen wichtigen Beitrag leisten. Als Beispiel sei die Nuklearkatastrophe von Fukushima genannt, in der eine Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk eingesetzt wurde, um Luftbilder des Katastrophengebiets zu liefern [1]. Dabei ist insbesondere die hohe Flugdauer von sogenannten HALE- und MALE-Systemen (*high/medium altitude long endurance*) von Bedeutung, die im Falle des Global Hawk mehr als 32 Stunden beträgt [2] und damit die Leistungsfähigkeit bemannter Flugzeuge deutlich übertrifft.

Im Forschungskontext des Krisenmanagements stellen sich folgende Fragen: Wie können RPAS zur Luftbilderfassung effizient eingebunden werden, um ihre Vorteile ausschöpfen zu können? Wie groß ist die Flexibilität während des Einsatzes solcher Systeme? Wie zeitnah können Ergebnisse für das erste Situationsbewusstsein der Einsatzleiter geliefert werden? Um diese und weitere Fragen beantworten zu können, startete im Jahr 2014 das EU-Projekt DRIVER+ (*Driving Innovation in Crisis Management for European Resilience*). Das Projektziel ist die Verbesserung der zivilen Reaktion auf Krisen und Katastrophen in einem lokalen, nationalen und internationalen Kontext durch Untersuchung von innovativen Lösungen, die Anforderungen von Fachkräften im Krisenmanagement adressieren. Zu diesem Zweck wurden vier unabhängige Versuche (*Trials*) mit unterschiedlichen Szenarien und Teilnehmern geplant und durchgeführt. Einer dieser Trials war im Jahr 2019 der *Trial Austria* im Ort Eisenerz in Österreich [3]. Das Szenario des Trials wurde mit der parallel in Eisenerz stattfindenden EU-Großübung IRONORE abgestimmt, an der mehr als 1.000 Teilnehmer aus neun EU-Ländern beteiligt waren [4]. Als Szenario wurde ein Erdbeben mit verschütteten und vermissten Personen gewählt, wobei zahlreiche Seiteneffekte zusätzliche Krisenherde verursachten. Insgesamt wurden für die Übung IRONORE 30 Vorfälle vorbereitet. Das Hauptaugenmerk des Trials von DRIVER+ lag indes auf einer kleineren Anzahl von Schauplätzen. IRONORE und DRIVER+ waren bei der Durchführung der Übung gegenseitige Nutznießer. So wurden die im Kontext von DRIVER+ erfassten Luftbilder und Kartenprodukte den Teilnehmern von IRONORE zur Verfügung gestellt, IRONORE wiederum sorgte für realistische Szenarioelemente in der Umgebung, wie zum Beispiel einen simulierten Busunfall oder verschüttete Fahrzeuge, die aus der Luft sichtbar waren und zur realistischen Simulation einer Katastrophe dienten.

Als besondere Problemstellung wurden die folgenden Ziele für das Trial formuliert:

1. Bereitstellung von Informationen zur Bildung eines Situationsbewusstseins, um Schadensausmaß, Rettungswege und Personen in nahezu Echtzeit erfassen zu können
2. Bereitstellung von Informationen zur Überwachung von Unterstützungsmaßnahmen
3. Datenerfassung basierend auf Anforderungen

der Rettungskräfte

4. Bereitstellung von Luftbildern und Kartenprodukten in standardisierten Formaten

Um diese Ziele zu erreichen, wurde Technik und Infrastruktur von Partnerinstituten des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) eingesetzt, um mit dem Forschungsflugzeug D-CODE, einer modifizierten Dornier 228, Luftbildaufnahmen zu machen. Die D-CODE wurde dabei von der Bodenkontrollstation (BKS) *U-FLY* als *Optionally Piloted Vehicle* ferngeführt und überflog strategische Ziele in dem Übungsgebiet. Sicherheitspiloten im Cockpit waren jederzeit bereit, im Problem- oder Notfall einzugreifen, das Flugzeug wurde jedoch von der BKS wie ein unbemanntes Fluggerät gesteuert und überwacht. Das in der D-CODE montierte 3K-Kamerasystem erstellte Aufnahmen, ein Bilddatenlink sendete die Bilder in nahezu Echtzeit an die BKS im Kontrollzentrum. Dort konnten Fernführer und Einsatzleiter die Bilder analysieren und Folgerungen für den simulierten Einsatz ziehen.

## 2. FORSCHUNGSHINTERGRUND

Im Projekt DRIVER+, finanziert von der Europäischen Union, wurden Prozeduren und Systeme untersucht und entwickelt, um Krisen und Katastrophen auch im überregionalen und internationalen Kontext besser und effizienter begegnen zu können. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf der Planung, Durchführung und Bewertung sogenannter *Trials*, um neuartige Systeme oder Verfahren untersuchen zu können. Im Vergleich zu Übungen ist dabei nicht das vorrangige Ziel, Einsatzkräfte mit bestehenden Systemen bestmöglich zu schulen und vorzubereiten, sondern neuartige Konzepte zu bewerten. Ein wichtiges Merkmal ist dabei die standardisierte und sorgfältige Vorbereitung solcher *Trials*, um Vergleichbarkeit herzustellen und die Analysephase zu erleichtern.

Der *Trial Austria* markiert dabei eines von vier *Trials* unterschiedlicher Natur, die während des Projekts durchgeführt wurden. Zur Vorbereitung des *Trials* in Österreich wurden technische oder operationelle Lösungen gesucht, die dabei helfen, dem *Trialszenario* eines Erdbebens mit Zerstörung der Infrastruktur und kaskadierenden Effekten neuartig begegnen zu können. Projektinterne und -externe Lösungen wurden im Rahmen eines Bewertungsverfahrens demonstriert, vom Organisationsteam geprüft und für die *Trial*-Durchführung ausgewählt. Eines der gewählten Systeme war das in diesem Paper beschriebene System zur Luftbilderfassung.

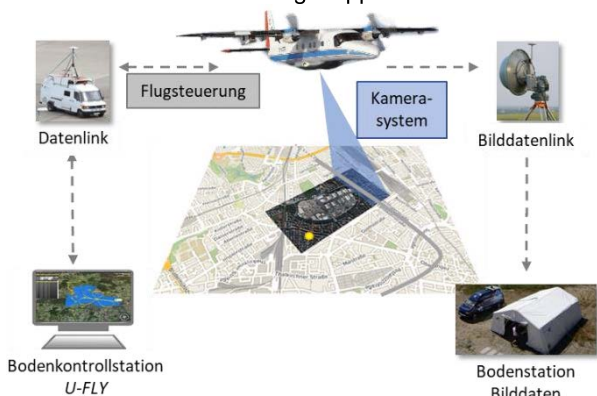
Die Forschung im Krisenmanagement hat im DLR-Institut für Flugführung eine bedeutende Rolle eingenommen. Immer häufiger auftretende Ereignisse, auch durch den Klimawandel, erfordern eine bessere, schnellere und effizientere Reaktion, um Menschen und Umgebung zu schützen. Der Forschungsbereich umfasst dabei Beiträge zu einem gesamtheitlichen Krisenmanagementsystem, wie im Projekt DRIVER+, als auch die Entwicklung von Koordination und Aufgabenverteilung für verschiedenste Drohnen und Drohnenschwärme. Die eingesetzten Fluggeräte können dabei sowohl Sensorträger zur Bewertung einer bestimmten Situation, als auch Nutzlastträger zur Verteilung von Hilfsgütern sein. Je höher der Automatisierungsgrad dabei ist, desto umfassender kann auch bei beschränktem Personalaufwand reagiert werden.

Durch den Einsatz unbemannter Luftfahrzeuge im Krisenmanagement wird nicht nur die Anzahl des erforderlichen Personals verringert, sondern auch die Gefahr für Leib und Leben deutlich reduziert. Im Katastrophenfall, zum Beispiel bei Unfällen mit Austritt radioaktiver Strahlung, können so Bilder und Sensordaten erlangt werden, ohne Piloten zu gefährden. Hilfsgüter können durch den Einsatz mehrerer kleinerer Drohnen gezielter in Katastrophengebieten verteilt werden. Die Einsatzzwecke sind vielfältig, erfordern aber sowohl eine sichere und definierte Befehlskette mit Unterstützung durch Assistenzsysteme, als auch eine flexible Bedienung vom Boden mit direktem Feedback an die Einsatzleitung.

### 3. TECHNISCHER HINTERGRUND

Neben Simulationen, um beispielhafte Flüge im bergigen Gebiet der Übung bewerten zu können, wurden der notwendige Datenlink zum Übermitteln hochauflösender Bilder als auch die Einbettung der Bilder in die BKS *U-FLY* vorbereitet. Weiterhin werden Möglichkeiten der Missionsplanung in der *U-FLY* aufgezeigt.

Eine Darstellung der gesamten Versuchsinfrastruktur aus Sicht der Luftbilderfassung kann BILD 1 entnommen werden. Die Komponenten stammen aus unterschiedlichen Forschungsvorhaben und Projekten, wurden im Rahmen von DRIVER+ allerdings erstmals zusammen auf diese Art eingesetzt. Das Forschungsflugzeug D-CODE wurde dazu mit dem 3K-Kamerasystem ausgestattet und um einen separaten Bilddatenlink ausgestattet. Die Funkverbindung zur Erreichbarkeit vom Boden zur Sprach- und Datenübermittlung wurde mit der experimentellen Bodenkontrollstation *U-FLY* gekoppelt.



**BILD 1. Gesamtsystem zur Erfassung von Luftbilddaten**

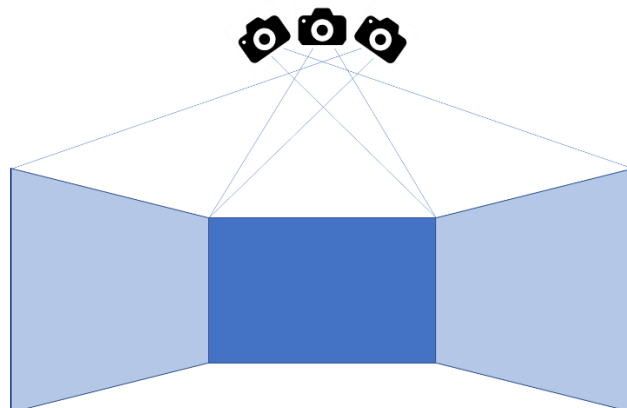
#### 3.1. Flugsimulation

Das von den Projekten DRIVER+ und IRONORE für die gemeinsame Übung gewählte Gebiet liegt im bergigen Gelände der österreichischen Steiermark. Für einen Flug in relativ geringer Höhe, um eine hohe Qualität der Luftbilder zu erreichen, sind operationelle und technische Anforderungen an Piloten, Versuchspersonal und Fluggerät hoch. Eine wichtige Forderung der Versuchspiloten im Vorfeld war es, dass das Flugzeug zu jedem Zeitpunkt der geplanten Mission mit nur einem Triebwerk einen Landeplatz erreichen können muss. Um dies sicherstellen zu können, wurden im Vorfeld in Zusammenarbeit mit den Übungsleitern von IRONORE und DRIVER+ drei besonders relevante Ziele im Gelände identifiziert. Für diese Ziele wurden entsprechende

Flugpläne erstellt, die ein Erreichen des jeweiligen Missionsziels vom nahe gelegenen Flughafen Graz in ausreichend niedriger Flughöhe ermöglichen würden. In Kooperation mit den Versuchspiloten wurden diese Flugpläne in mehreren Iterationen bewertet. Dazu wurden DLR-Simulationen eines ähnlichen Flugzeugtyps verwendet und mit einer Reduktion der Flugleistung beaufschlagt, um eine reduzierte Leistung der Triebwerke zu simulieren. Diese Simulationen wurden sowohl in Echtzeit als auch in Schnellzeit durchgeführt – letzteres, um auch auf der Planungsseite in der *U-FLY* eine visualisierte Trajektorie darstellen und bewerten zu können. Zusätzlich wurde die proprietäre Software *X-Plane* [5] mit einem Modell der Dornier 228 verwendet, um einen Triebwerksausfall zu simulieren und in Echtzeit die Mission abzufliegen.

#### 3.2. Kamera und Datenlink

Für den Trial wurde das vom DLR-Institut für Methodik der Fernerkundung beschaffte und entwickelte sogenannte 3K-Kamerasystem entsprechend angepasst und verwendet. Das System besteht aus einer Kombination von drei Canon EOS Mark III mit einer Auflösung von jeweils 21 Megapixeln [6]. Die kombinierten Öffnungswinkel ergeben sich zu ca. 110°. Die Einzelbilder der Kameras sind mit Zeitstempeln versehen und georeferenziert und werden per Bilddatenlink an das Bodensystem gesendet. Dort findet in einem weiteren Prozessierungsschritt der Angleich von Helligkeit und weiteren Bildparametern statt. Als Ergebnis pro Aufnahmezeitpunkt entstehen somit drei Einzelbilder mit leicht überlappenden Schnittmengen. Eine vereinfachte Skizze des Kamerasystems findet sich in BILD 2.

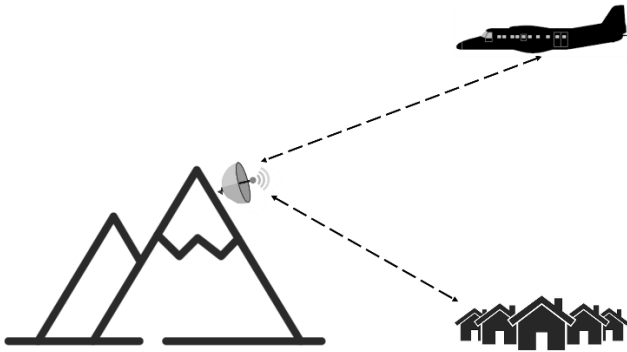


**BILD 2. Anordnung und Bildbereiche des 3K-Kamerasystems**

Als Datenlink kommen in dem Aufbau zwei separate und voneinander unabhängige Systeme zum Einsatz. Für die Datenverbindung zur Flugsteuerung und Missionsübermittlung und -überwachung ist ein Datenlink mit weniger Bandbreite, dafür aber höherer Reichweite geeignet, in diesem Fall ein Vollduplex-Hochfrequenz-Datenlink im L/S-Band mit 1 bis 4 GHz [7]. Die Antenne besitzt eine Anzeige zur Unterstützung der Nachführung basierend auf der Signalstärke. Zur Bilddatenübermittlung ist bei der prognostizierten Datenmenge ein separater Bilddatenlink mit höherer Datenrate, dafür geringerer Reichweite sinnvoll. Das Kamerasystem hat eine eigene Datenlinklösung mit automatischer Nachführung, um die Bilddaten vom Fluggerät zur Bodenstation zu senden.

Aufgrund der geografischen Gegebenheiten wurde das System um eine Relaisstation auf einem Berggipfel

erweitert, die auf dem nahe liegenden Erzberg Signale vom Fluggerät und aus dem Trial-Kontrollzentrum im Tal bidirektional empfängt und weiterleitet. Für die benötigte Bandbreite auf der Talverbindungsstrecke sorgt ein gerichtetes 5-GHz-Rundfunksystem mit 25 dBi Signalverstärkung an der Antenne. Der prinzipielle Aufbau ist in BILD 3 schematisch dargestellt. Die Funkstation auf dem Berg besteht aus den Empfängerantennen der Datenlinks, teilweise mit automatischer Verfolgung des Fluggeräts nach initialem Kontakt, den dazugehörigen Bodensystemen inklusive der Bodenstation der Bilddaten, und der separaten Richtfunkverbindung ins Kontrollzentrum im Tal.



**BILD 3. Zwei-Wege-Funkverbindung Fluggerät - Relaisstation - Kontrollzentrum**

### 3.3. Bildprozessierung

Mit dem System aufgenommene Bilder werden noch an Bord des Flugzeugs einem ersten Prozessierungsschritt unterzogen. Je Kamera weist ein PC jedem Bild einen synchronisierten Zeitstempel zu. Anschließend wird jedes Bild orthorektifiziert und mit UTM-Koordinaten versehen [9]. Diese sogenannte Georeferenzierung ermöglicht das exakte Einbinden der Bilder in Karten- und Darstellungstools sowie das spätere Erstellen zusammenhängender Mosaikbilder.

Nach der Aufnahme und Vorverarbeitung der Bilder werden diese über den vorgestellten Bilddatenlink an die Bodenstation gesendet. Dabei ist durch eine Antwort der Bodenstation sichergestellt, dass Bilder komplett empfangen wurden. Bei Übertragungsproblemen durch Abschattung der Antennen, geografische Hindernisse oder zeitweises Verlassen des Missionsgebiets durch das Fluggerät werden nicht-übertragene, allerdings fertig vorprozessierte Bilder in einer Warteschlange vorgehalten und bei Wiederherstellung des Datenlinks aufeinander folgend übertragen.

Sobald die Bilder von der Bodenstation empfangen wurden, werden sie auf einem Netzlaufwerk abgelegt und sind dort für berechtigte Nutzer verfügbar. Jede Datei trägt einen eindeutigen Titel, sodass durch Überwachung des Verzeichnisses neue Dateien erreichbar sind, aber auch ältere Dateien bei Bedarf geladen werden können.

Bei optimalen Verhältnissen erreichen die Bilder den Boden innerhalb weniger Sekunden. Die Verarbeitung an Bord des Flugzeugs beträgt zwischen 0,2 und 13 Sekunden je Bild [10]. Die Verfügbarkeit in den Bodensystemen hängt von vielen Parametern, zum Beispiel Verbindungsqualität des

Bilddatenlinks, Netzwerk- und Laufwerksgeschwindigkeit, ab. Im Regelfall konnte in diesem Trial mit einer Verfügbarkeit und Anzeige der Bilder unterhalb einer Minute gerechnet werden.

### 3.4. Missionsplanung

Zur Missionsdurchführung wurden im Vorfeld aus den 30 Missionszielen der Übung IRONORE solche Ziele ausgewählt, die besonders von Luftbildern in nahezu Echtzeit profitieren können. Dabei wurde auch beachtet, dass durch die eingesetzten Versuchsträger gewisse Rahmenbedingungen erfüllt sein müssen. So kann die D-CODE, anders als ein Hubschrauber, nicht beliebig enge Kurven fliegen oder gar schweben, aber dafür große Bereiche deutlich schneller überfliegen und damit kartografieren. Am Ende des Auswahlprozesses wurden folgende Missionsziele für den Trial vorbereitet:

1. Mission *Bahnhof*: Erfassen eines verunglückten Zuges
2. Mission *Brücke*: Erfassen eines Verkehrsunfalls
3. Mission *Trainingscenter*: Erfassen eines verschütteten Gebäudes
4. Mission *Kartierung*: Großräumiges Kartieren des Übungsgebiets

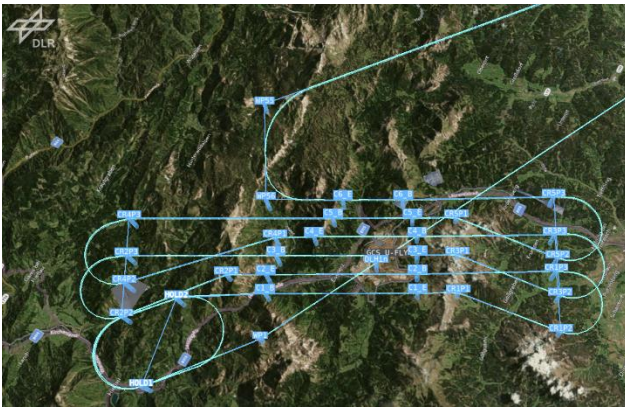
Zu jedem dieser Missionsziele wurden eigene Flugpläne erstellt, die einen kompletten Flug vom Flughafen Graz über eine Warteschleife (ein sogenanntes *Holding Pattern*) zum jeweiligen Missionsgebiet abbildeten. Das Holding Pattern wurde für jede Mission gleich gewählt und erlaubte einen definierten Punkt, um die Verbindung des Bodensystems mit dem Fluggerät herzustellen, bevor die eigentliche Mission per Datenlink übermittelt wurde.

Bei der Missionsplanung wurden mit den Hilfsfunktionen, die in der BKS *U-FLY* verfügbar sind, geografische Besonderheiten und Rahmenbedingungen im Vorfeld beachtet, wie zum Beispiel Mindestabstand zu umliegenden Bergen, Mindestflughöhe über Grund, und Abbruchmöglichkeiten zu jeder Zeit der Mission.

Ein exemplarischer Missionsplan für die Kartierung ist in BILD 4 zu sehen. Der Anflug erfolgt aus dem rechten oberen Bildbereich über den Wegpunkt *WP1* und führt in das Holding Pattern, das durch die Wegpunkte *HOLD1* und *HOLD2* definiert ist. Anschließend führen sechs Flugstreifen horizontal über den Ort Eisenerz und das Übungsgebiet. Die automatisch berechneten Kurven auf der linken und rechten Seite basieren auf dem zu beachtenden Verhältnis folgender Parameter:

- Niedrige Flughöhe für hohe Bildauflösung
- Schmale Streifenbreite der Luftbilder
- Hoher Kurvenradius durch begrenzten Rollwinkel (ca. 25°) des Fluggeräts

Mit dem bekannten Öffnungswinkel des Kamerasystems und der geplanten Flughöhe werden die Streifen so berechnet, dass im Anschluss ein lückenloses Bild erstellt werden kann. Details zum Hintergrund der Planung finden sich in [11]. Die erforderlichen Wendemanöver werden basierend auf dem gewählten Flugmodell erstellt. Nach Erfassung des gesamten Gebiets führen die Wegpunkte *WP56* und *WP55* zurück zum Flughafen Graz.

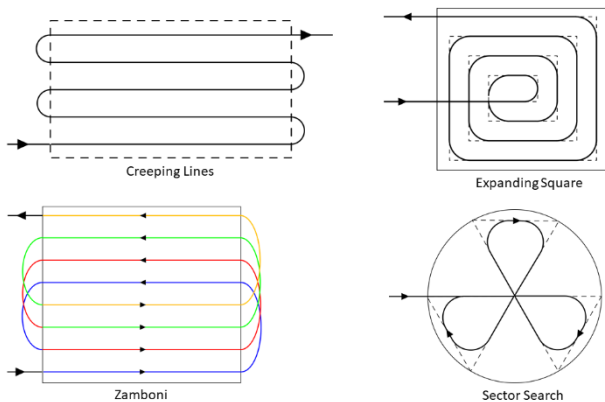


**BILD 4. Missionsplan Kartierung in BKS U-FLY**

Für die Erstellung der wegpunkt-basierten Missionen können in der BKS *U-FLY* folgende Schritte unternommen werden:

- Ab- und Anflug laut publizierter Information auswählen
- Wegpunkte manuell hinzufügen
- Rechtwinklige Suchbereiche beliebiger Größe anlegen
- Such- und Scanmuster einem Bereich zuweisen
- Flughöhe je Bereich definieren
- Höhen- und Geschwindigkeitsvorgaben definieren (je Wegpunkt)
- Kurvenverhalten definieren (*fly-by* oder *fly-over*)

Die Auswahl der Such- und Scanmuster umfasst dabei in BILD 5 dargestellte Varianten. Für das in BILD 4 dargestellte Muster wurde der Typ *Creeping Lines* gewählt und automatisch, wie beschrieben, an die Flugeigenschaften des Flugzeugs angepasst.



**BILD 5. Such- und Scanmuster in der BKS U-FLY (Auswahl)**

Um die gewünschten Effekte auf die zu fliegende Trajektorie zu erreichen, bekommt der Bediener der BKS ein direktes Feedback durch den Trajektoriengenerator, der mit der BKS verknüpft ist. So können bereits in der Planungsphase die Parameter Flughöhe, Flugeschwindigkeit (die wiederum den Kurvenradius für die Wendemanöver beeinflusst) sowie Gebietsgröße und -ausrichtung für ein optimales Ergebnis variiert werden.

Sobald die Planmission fertiggestellt ist, kann sie zur

späteren Verwendung und Bearbeitung gespeichert werden. Auf diese Weise konnten im Vorfeld des Trials alle Missionen mit den Versuchspiloten besprochen werden, was bei den anspruchsvollen Randbedingungen eine erhöhte Sicherheit erbrachte.

Nachdem eine wegpunkt-basierte Planmission an das Fluggerät übermittelt wurde, wird diese Mission vom bordeigenen Flight Management System (FMS) in eine fliegerisch durchführbare Trajektorie überführt. Diese Trajektorie wird dann als Rückantwort über den Datenlink an die BKS gesendet und dort dargestellt. So kann der Bodenoperator überprüfen, ob die gewünschten Missionsziele voraussichtlich erreicht werden können, auch wenn sich aus fliegerischer Sicht (zum Beispiel Windeinflüsse oder leicht veränderte Flughöhe oder -geschwindigkeit) eine andere Trajektorie aus dem wegpunkt-basierten Flugplan ergibt als vom Bodensystem prognostiziert.

#### 4. TRIALDURCHFÜHRUNG

Die folgenden Abschnitte beschreiben die eigentliche Trialldurchführung mit den aufgetretenen Herausforderungen beim Wetter, der Flughafeninfrastruktur, der Kommunikation zwischen den beteiligten Akteuren, und den Anpassungen während des Trials.

##### 4.1. Wettervorhersage

Der Trial wurde an aufeinanderfolgenden Tagen im September 2019 durchgeführt. Die Lage des Ortes Eisenerz in der Steiermark in Österreich ist durch umgebende Berge geprägt, der Ort selbst liegt im Tal. Zu der Jahreszeit der Trialldurchführung war mit wechselhaften Wetterbedingungen zu rechnen, insbesondere dichte Nebelfelder in den Morgenstunden wurden erwartet. Für die Missionsziele war ein freier Blick aus einer Flughöhe von 3.000 m über dem Meeresspiegel (*mean sea level*, MSL) essenziell. Die Durchführung, der für die Luftbilder relevanten Teile des Trials, wurde daher präventiv bereits im Vorfeld auf die Mittagszeit gelegt.

Sowohl in der Flugplanung der BKS U-FLY als auch in den Bordsystemen der D-CODE wurden am Tag des Trials eine Wettervorhersage von 08:00 Uhr hinterlegt. Die daraus zu entnehmenden Werte für Windstärke und -richtung wurden für die jeweilige Berechnung der Trajektorienvorhersage verwendet. Abweichungen der Wettervorhersage wurden vom FMS der D-CODE und/oder den Piloten manuell ausgeglichen.

##### 4.2. Flughafeninfrastruktur

Als Flughafen für Start und Landung, manuell von den Piloten durchgeführt, wurde der nahe gelegene Flugplatz Graz gewählt, 77 km entfernt vom Kontrollzentrum des Trials. Ein vorher abgesprochener Zeitplan ermöglichte koordinierte Vorbereitungen in Graz. Die Besatzung, bestehend aus Pilotenteam, Flugversuchingenieur, Bediener der Experimentalsysteme und Bediener des Kamerasystems, waren in Graz stationiert. Dies erforderte eine Kontaktaufnahme (Briefing) über Telefon, um kurzfristige Änderungen in den Zeitplänen des Trials mitzuteilen.

### 4.3. Kontaktaufnahme

Die dynamischen Entwicklungen des Trials und der angegliederten Übung erforderten eine gewisse Flexibilität der luftgestützten Dienste. Das zuvor bereits beschriebene *Holding Pattern* wurde also nicht nur zur Kontaktaufnahme von Bodensystemen und dem Flugzeug verwendet, sondern diente auch als *Standby-Position*, bis der eigentliche Missionsauftrag der Einsatzleiter erfolgte.

Nach Abflug am Flughafen Graz war das Flugzeug per UKW-Funk bereits erreichbar, bevor die Datenlinksysteme eine Verbindung herstellen konnten. So war die Abstimmung zwischen Luft- und Bodenteam über Funk möglich. Die D-CODE flog, nachdem Sprechfunkkontakt hergestellt war, das *Holding Pattern* an und kreiste über den Bergen, gut sichtbar vom Team an der Relaisstation auf dem Erzberg. Dies ermöglichte zum einen die Verfügbarkeit für eine Missionsanfrage von einem relativ eingeschränkten Bereich, was die Planung im Missionskontrollzentrum erleichterte. Zum anderen konnten die beiden Datenlinks zur Bildübertragung und Flugführung in einem definierten Areal verbunden und überprüft werden. Nach Herstellung aller Funkkontakte war das Flugzeug einsatzbereit, und das Bordpersonal erwartete die erste Missionsanfrage.

### 4.4. Missionsanpassung

Nachdem die Übung mit allen beteiligten Akteuren offiziell gestartet wurde, begannen die Einsatzleiter des Österreichischen Roten Kreuzes (ÖRK) damit, sich mit dem Szenario des Trials vertraut zu machen. Durch andere am Trial und der Übung beteiligte Systeme erreichten Schadensmeldungen und Aufforderungen zur Aufklärung verschiedener Katastrophenbereiche die Leiter der (zum Teil angenommenen oder simulierten) Rettungskräfte. Je nach Anforderungen wurden Entscheidungen gefordert, wie die verfügbaren personellen und materiellen Ressourcen sinnvoll eingesetzt werden können. Das vorgestellte DLR-System zur Bereitstellung von Luftbilddaten wurde dabei für die bereits erwähnten Missionsziele Bahnhof, Brücke, Trainingszentrum und Kartierung als gewinnbringend erachtet. Die im Vorfeld geplanten Flugstrecken wurden vom Bodenpersonal als mögliche Einsatzbereiche kommuniziert. Das erlaubte eine Balance zwischen Flexibilität für die Einsatzkräfte und Planungssicherheit für die Piloten und Besatzung des Fluggeräts im unbekanntem, herausfordernden Terrain.

Die Operatoren der Bodenkontrollstation und der Kamerasysteme fungierten in dem Ablauf des Szenarios als Schnittstelle zwischen den abstrakten, generalisierten Anforderungen der Einsatzleiter auf der einen Seite, und dem in der Luft befindlichen Personal auf der anderen Seite. Durch das Wissen über Fähigkeiten des Fluggeräts und Kamerasystems, Kommunikation mit dem Luftpersonal, sowie die Unterstützungssysteme der BKS konnten die Anforderungen in fliegerische Anweisungen und Missionsupdates „übersetzt“ werden, die anschließend per Datenlink übermittelt wurden. So wurden zum Beispiel Abschätzungen erfordert, welche die Vereinbarkeit von dem Wunsch nach einer Hoचाufklärung des Gebiets mit der derzeitigen Wetterlage von teilweiser Wolkenbedeckung vereinbar machten.



BILD 6. Bediener der BKS U-FLY während der Übung [12]

### 4.5. Aufzeichnung und Analyse

Die Bilddaten als Produkt durchliefen mehrere Bearbeitungs- und Übermittlungsschritte, konzeptionell dargestellt in BILD 7, detailliert im Folgenden.

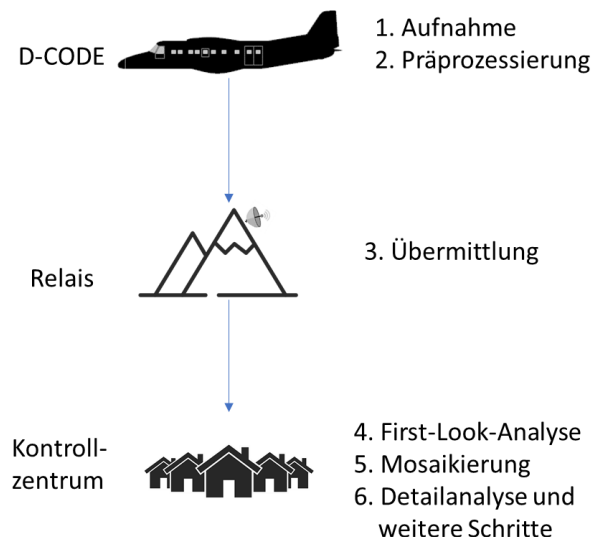


BILD 7. Schritte im Bilddatenprozess

1. Aufnahme  
Die Bilddaten werden halbautomatisch vom Kameraoperator an Bord der D-CODE aufgenommen. Der Kameraoperator überwacht Parameter und wählt geeignete Zeitpunkte für Beginn und Ende der Aufnahme.
2. Präprozessierung  
Wie in Kapitel 3.3 beschrieben, werden die Bilddaten noch an Bord einer ersten Bearbeitung unterzogen.
3. Übermittlung  
Über die Relaisstation erreichen die Bilddaten die Bodensysteme.
4. First-Look-Analyse  
In der BKS werden die Bilder direkt nach Erhalt an

entsprechender Stelle georeferenziert eingebettet. Die vorhandene Hintergrundtextur, in diesem Fall Satellitendaten aus dem Internet, werden dabei mit den aktuellen Bildern überdeckt. Auf diese Weise können Veränderungen der Situation am Boden erkannt werden.

#### 5. Mosaikierung

Parallel zur First-Look-Analyse wird nach Erhalt aller benötigter/gewünschter Bilder ein Prozess angestoßen, der automatisch ein Mosaik erstellt, also alle Einzelbilder zu einem Gesamtbild aneinanderfügt und homogenisiert.

#### 6. Detailanalyse und weitere Schritte

Mit dem fertigen Mosaik können Übersichtskarten erstellt oder als Bildprodukt für andere Systeme zur Verfügung gestellt werden, die durch Datensammlung anderer Partner (zum Beispiel Bewegungsdaten von Bodeneinheiten) einen gesamtheitlichen Überblick ermöglichen.

Alle Bilddaten stehen, mit Zeitstempeln versehen, weiterhin zur Verfügung, um durch eventuelle spätere Überflüge zur Bilddatenerfassung den Fortschritt der Katastrophe bzw. der Rettungsmaßnahmen vergleichen zu können.

Zur Untersuchung der Aspekte der Flugführung wurden auch die Missionspläne sowie die übermittelten Daten an das Fluggerät sowie die tatsächlich geflogene Strecke und Flugzustandsdaten aufgezeichnet. Die Flugspur der Mission *Kartierung* vom Service Flightradar24 [13] ist in BILD 8 dargestellt.



**BILD 8. Flugspur der Kartierungsmission in Flightradar24**

### 5. BEWERTUNG DER EINSATZLEITER

Die Nutzer des Systems, also die Einsatzleiter im Kontrollzentrum, die Missionen über den Bediener der BKS anfragten, wurden im Anschluss an die Übung zu der Verwendung und den Nutzen befragt.

Einer der Einsatzleiter schätzte die Arbeit, die in die Entwicklung und Bereitstellung floss, erwähnte allerdings auch, dass das Endprodukt lediglich ein Bild ist, und zur Deutung und Analyse weitere Unterstützungssysteme denkbar wären.

Gelobt wurden von einem Nutzer die hohe Auflösung der Bilder und die Möglichkeit, zwischen Detailansicht und Gesamtüberblick zu wechseln, ohne den Arbeitsplatz wechseln zu müssen.

Als Limitierung des Systems wurde erachtet, dass lediglich Bilder aus der Vogelperspektive erstellt wurden. Zur Einschätzung der Situation nach einem Erdbeben, Erdstoch oder ähnlichen Katastrophen wäre es hilfreich,

auch eine seitliche Ansicht erhalten zu können. So könnten Schäden an Gebäuden besser identifiziert und damit die Gesamtsituation präziser bewertet werden.

Als derzeit noch notwendiger Zwischenschritt wurde die Interaktion mit dem BKS-Operator identifiziert, um die Anforderungen und Wünsche der Einsatzleitung erst in eine Flugmission zu „übersetzen“ und anschließend bei der Darstellung und Deutung der Bilddaten zu unterstützen. Ein höherer Grad der Automatisierung wurde zur Diskussion gestellt.

### 6. NUTZEN DES SYSTEMS IM KRISENFALL

Die Einsatzmöglichkeiten des vorgestellten Systems sind ebenso zahlreich wie die Möglichkeiten von Krisen, Katastrophen und sonstigen Naturereignissen. Eine zivile Verwendung sowohl zur Überwachung als auch zur gezielten Lokalisierung von Personen, Fahrzeugen und Ausmaßen des Ereignisses kann flexibel gestaltet werden. Die vorgestellte und durch die Versuche demonstrierte Infrastruktur zur Flugführung, Datenübertragung und Bewertung kann als „Trägersystem“ für verschiedenste Sensoren oder weiteren Nutzlasten an einem ferngeführten Fluggerät dienen.

In der Katastrophenschutzübung wurden ausschließlich optische Sensoren zur Erfassung von gezielten Bereichen verwendet. Eine Adaption auf andere Sensorik und Einsatzziele ist jedoch möglich, ohne die Infrastruktur im Kontrollzentrum zu verändern. Wenn die benötigte Sensorik, zum Beispiel Infrarotkameras, Gasdetektoren oder Geigerzähler zur Messung der radioaktiven Strahlendosis, bereits mitgeführt wird, ist eine Anpassung des grundlegenden Einsatzzweckes sogar möglich, ohne dass das Fluggerät landen und umkonfiguriert werden muss.

Der Einsatz der D-CODE als *Optionally Piloted Vehicle* hat rechtliche und sicherheitsrelevante Gründe. Prinzipiell bietet das System aus BKS und Datenlink aber die Funktionalität, um ein Flugzeug dieser Größe auch ohne Piloten bedienen zu können – entsprechende Technik (zum Beispiel automatisches Start- und Landesystem) an Bord vorausgesetzt. Kleinere Fluggeräte, zum Beispiel Multikopter oder unbemannte Kleinflugzeuge, können bereits jetzt mit dem System verwendet werden. Je nach prognostiziertem Einsatzzweck kann abgewogen werden, ob der Einsatz einer großen Flächenfliegerdrohne, beziehungsweise eines großen *Optionally Piloted Vehicles*, notwendig und gerechtfertigt ist, oder ob die Flexibilität und kostengünstigere Verwendung eines kleineren Fluggeräts als ausreichend betrachtet wird. Im konkreten, vorliegenden Fall ist der Einsatz eines großen Fluggeräts angezeigt, da das Ausmaß des Katastrophengebiets mit kleinen, langsameren Drohnen nicht annähernd so schnell zu erfassen wäre. Durch zusätzlichen Einsatz einer kleineren Drohne könnte aber auch dem Wunsch nach verschiedenen Perspektiven nachgekommen werden.

Im Vergleich zu satellitengestützten Produkten ist der Vorteil dieses Systems, dass die Bildprodukte deutlich schneller angefordert werden können und dann zur Verfügung stehen. Des Weiteren können die Intervalle, in denen Bereiche auf Veränderungen überprüft werden, deutlich kleiner gewählt werden, als dies mit Satelliten und ihren Umlaufzeiten um die Erde für aufeinanderfolgende

Aufnahmen möglich wäre.

## 7. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das vorgestellte System zum Erfassen von Luftbildern und Übermitteln in nahezu Echtzeit an Bodensysteme bettet sich in die Forschung an Krisenmanagementthemen beim DLR ein. Im Projekt DRIVER+ wurde das System in einem zusammen mit der EU-Großübung IRONORE durchgeführten Trial eingesetzt. Das System für Luftbilder wurde dabei von der Einsatzleitung bedient, indem mit dem Operator der Bodenkontrollstation *U-FLY* mögliche Missionsziele besprochen und die zugehörigen Flugmissionen geplant wurden. Das Forschungsflugzeug D-CODE wurde dabei wie eine Drohne bedient, hatte aber Sicherheitspiloten an Bord (*Optionally Piloted Vehicle*). Die Funkverbindung mit zwei separaten Datenlinks wurde über eine Relaisstation auf einem Berg in der Nähe des Kontrollzentrums realisiert. Aufgenommene Luftbilder wurden direkt nach Erhalt in einem „First Look“ an der Bodenkontrollstation angezeigt und für die spätere Analyse mosaikiert. Missionsanfragen und -änderungen konnten, ohne dass das Flugzeug landen musste, direkt vom Boden gesendet und aktiviert werden. Die Qualität der Bilder wurde von den Einsatzleitern positiv bewertet. Flexiblere Perspektiven seien allerdings in einem echten Einsatz wünschenswert.

Die Kombination der vorgestellten verschiedenen Module wurde erstmals für das Projekt DRIVER+ realisiert. Jedes Modul wurde und wird in Forschungsprojekten angewendet, und die Erkenntnisse aus DRIVER+ finden Einzug in diese Projekte. Eine Kombination aus D-CODE, 3K-Kamerasystem und der Bodenkontrollstation *U-FLY* kann, natürlich auch außerhalb des Krisenmanagements, flexibel angewendet werden.

Durch Drohnenschwärme kann auch in komplexen Krisen oder in anderen Anwendungsfällen, zum Beispiel in der Landwirtschaft, effizient agiert und reagiert werden. Für solche Fälle wurden bereits erste Konzepte und prototypische Führung und Aufgabenteilung umgesetzt und werden zukünftig weiterentwickelt und verfeinert. Durch die Kombination von kleinen und großen Drohnen, bedient von einer BKS, kann auch spezifischeren Anforderungen – zum Beispiel für multiple Perspektiven einer Situation – begegnet werden.

Die Entwicklung von Videodatentransfer in Echtzeit wird beim DLR bereits mit kleineren Drohnen realisiert. Auch an der D-CODE als *Optionally Piloted Vehicle* ist dies mit Einbettung der Videodaten in die BKS möglich und wird weiterverfolgt. Das Ziel eines höheren Grads der Automatisierung, zum Beispiel bei der Bildanalyse, kann weitere Forschungsfelder öffnen und Kooperationen ermöglichen.

## LITERATUR

- [1] Japan Earthquake: Global Hawk UAV May Be Able to Peek Inside Damaged Reactors - IEEE Spectrum, <https://spectrum.ieee.org/autoton/robotics/military-robots/global-hawk-uav-may-be-able-to-peek-inside-damaged-reactors>, Zugriff: 05.03.2021
- [2] Global Hawk - Northrop Grumman, <https://www.northropgrumman.com/what-we-do/air/globalhawk-rq-4-unmanned-aircraft-system/>,

Zugriff: 05.03.2021

- [3] The DRIVER+ project successfully conducts its last Trial in Eisenerz, Austria, [https://www.driver-project.eu/wp-content/uploads/2019/09/Post\\_Trial\\_Austria\\_PR\\_FO\\_R\\_RELEASE.pdf](https://www.driver-project.eu/wp-content/uploads/2019/09/Post_Trial_Austria_PR_FO_R_RELEASE.pdf), Zugriff: 05.03.2021
- [4] Aschbacher, Helmut & Riener, Josef; IRONORE 2019: Project Review, Findings and Way Forward, Version B/2019; Graz, Austria; 2021.
- [5] X-Plane 11 Flight Simulator | More Powerful. Made Usable., <https://www.x-plane.com/>, Zugriff: 24.08.2021
- [6] Kurz, Franz, 2009, Accuracy assessment of the DLR 3K camera system, DGPF Tagungsband 18, S. 1-7
- [7] Jessen, Ingo, 2006, Datenlink-Konzepte ATTAS/ATRA, DLR Report 112-2006/43
- [8] Ubiquiti Networks, PowerBeam ac Manual, [https://www.senetic.pl/gfx/products/files/PowerBeam5\\_ac\\_DS.pdf](https://www.senetic.pl/gfx/products/files/PowerBeam5_ac_DS.pdf), Zugriff: 23.06.2021
- [9] Kurz, F., Meynberg, O., Rosenbaum, D., Türmer, S., Reinartz, P., and Schroeder, M.: LOW-COST OPTICAL CAMERA SYSTEM FOR DISASTER MONITORING, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XXXIX-B8, 33–37, <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B8-33-2012>, 2012.
- [10] Kurz, F., Türmer, S., Meynberg, O., Rosenbaum, D., Runge, H., Reinartz, P., Leitloff, J. (2012) Low-cost optical Camera System for real-time Mapping Applications. Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, Jahrgang 2012 (2), Seiten 159-176. E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung. doi: [10.1127/1432-8364/2012/0109](https://doi.org/10.1127/1432-8364/2012/0109). ISSN 1432-8364.
- [11] Geister, Dagi und Schwoch, Gunnar und Becker, Hayung (2017) *Flight testing of optimal RPAS Scan Patterns*. Journal of Guidance, Control, and Dynamics. American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA). ISSN 0731-5090.
- [12] DRIVER+ Trial Austria (driver-project.eu), <https://www.driver-project.eu/trial-austria-2/>, Zugriff: 12.07.2021
- [13] D-CODE - Dornier 228-101 - Flightradar24, <https://www.flightradar24.com/data/aircraft/d-code>, Zugriff: 24.08.2021

Research leading to this paper has been performed in the scope of the project DRIVER+. This project has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme for research, technological development and demonstration under grant agreement n° 607798.

## Kontaktadressen:

[Gunnar.Schwoch@dlr.de](mailto:Gunnar.Schwoch@dlr.de)  
[Christian.Niermann@dlr.de](mailto:Christian.Niermann@dlr.de)