

# Hybride UAV-Systeme: Technologie und Anwendungen

Thomas Kraft | Henry Meißner | Matthias Geßner | Julius Gäde | Jörg Brauchle |  
Daniel Hein | Julia Gonschorek | Jörg Helmrich | Steven Bayer | Ralf Berger

## 1 Zusammenfassung

Das Institut für Optische Sensorsysteme des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) hat eine spezielle Version des *Modular Aerial Camera System* (MACS 2022) für unbemannte Fluggeräte (engl. *Unmanned Aerial Vehicle*, kurz *UAV*) entwickelt, womit überflogene Gebiete in Echtzeit kartiert werden können. In Kooperation mit dem deutschen Hersteller Quantum Systems ist eine erste Version von MACS für das hybride UAV-System *Vector* entstanden. Es handelt sich hierbei um eine sog. *Vertical Take-Off and Landing Fixed Wing* (VTOL) Drohne. Der *Vector* hat eine Flugzeit von bis zu 120 Minuten bei einer mittleren Fluggeschwindigkeit von 72 km/h. Durch den Einsatz einer speziellen Funkstrecke kann die Drohne über eine Reichweite von bis zu 15 Kilometern betrieben werden (Quantum Systems 2022). Über diese Funkstrecke kann MACS zeitgleich Nadir-Luftbilder kontinuierlich zum Boden übertragen. Mit dem vom DLR entwickelten Verfahren (Hein et al. 2018) können diese Luftbilder dann direkt als Überlagerung in einer digitalen Karte dargestellt werden. Die Visualisierung erfolgt mit einer vom DLR entwickelten Software (MACS-Box 2022). Durch die Vorwärtsbewegung der Drohne entsteht in Echtzeit ein stetig wachsendes Luftbildmosaik der überflogenen Bereiche. Dieses zeigt das aktuelle Geschehen am Boden zum Zeitpunkt des Überflugs und kann unmittelbar von einem Menschen interpretiert werden. Die Erprobung und Kommerzialisierung dieser Technologie erfolgt im Rahmen des *Helmholtz Innovation Lab OPTSAL* (HIL OPTSAL 2022). In Kooperation mit verschiedenen Endanwendern und Industriepartnern wurden MACS und *Vector* vermehrt in den Einsatz gebracht. Dieser Beitrag gibt Einblicke in die Entwicklungsarbeiten und die jüngsten Transferaktivitäten der Technologie.

## 2 Einleitung

Seit mehreren Jahrzehnten werden am DLR-Institut für Optische Sensorsysteme in Berlin hochinnovative digitale Kamerasysteme entwickelt, gebaut und

betrieben. Die *Modular Aerial Camera Systems* (MACS 2022) sind eine Evolution dieser Entwicklungslinie: eine Familie von luftgestützten Kamerasystemen mit einzigartigen technischen Fähigkeiten. Diese zeichnen sich durch einen hohen Technologie- und Anwendungsreifegrad aus. MACS ist deshalb vielfach in anspruchsvollen Missionen für Sicherheitsanwendungen im Einsatz.

Was MACS so besonders macht, ist die enorme Flexibilität – im Hinblick auf die Anwendungen und auch auf die luftgestützten Trägersysteme. Die Bandbreite der Nutzungsmöglichkeiten reicht von höchstauflösender 3D-Geodatengewinnung, über Echtzeit-Kartierung von Großschadensereignissen und Katastrophenlagen bis hin zur Vermessung klimarelevanter Umweltveränderungen. Dafür sind die Systeme unter anderem in und an wissenschaftliche Spezialflugzeuge, Helikopter, Drohnen und klassische Bildflug-, Klein-, Segel- und Ultraleichtflugzeuge integriert.

Der Schlüssel zur Anwendung ist dann die automatische Verarbeitung der aufgenommenen Daten zu nutzbaren Informationsprodukten (im Post-Processing oder in Echtzeit) sowie die nahtlose Integration in die Prozesse und Systeme der Anwender. Auf dieser technologischen Erfahrungsbasis setzt das *Helmholtz Innovation Lab OPTSAL* am DLR auf, um ausgewählte Systeme und Komponenten gemeinsam mit Unternehmenspartnern in echte Produkte und Dienste zu transferieren.

Im Bereich der behördlichen Endanwender haben sich in den letzten Jahren vermehrt unbemannte Quadrocopter mit optischen Traglasten (Payload) etabliert (BOS Drohneneinheiten Deutschland 2022). Diese Systeme sind eine ideale Ergänzung zur schnellen Aufklärung von kleinräumigen Gebieten. Zumeist wird hier das Videobild der optischen Payload von der Drohne zum Boden übertragen, um eine Einschätzung der Lage vornehmen zu können (Drohnen im Bevölkerungsschutz 2022). Der große Vorteil dieser Systeme ist das punktuelle Beobachten von Ereignissen am Boden aus der Vogelperspektive. Jedoch kommen diese Systeme an ihre Grenzen, wenn es darum geht in kurzer Zeit großräumige Bereiche ( $> 1 \text{ km}^2$ ) aufzuklären. Hier sind klassische Starrflügel- und VTOL-Drohnen aufgrund ihrer höheren Fluggeschwindigkeiten und Flugzeiten im Vorteil (Steinhoff 2021).

Zur schnellen Aufklärung und Visualisierung von größeren Schadenslagen haben sich verschiedene Softwarelösungen entwickelt, welche anhand von georeferenzierten Drohnen-Luftbildern einen Überblick erstellen können. Die Software *DroneDeploy* nutzt z. B. das übertragene Videobild von handelsüblichen Kameradrohnen und generiert im Flug ein geografisch korrektes Bildmosaik (DroneDeploy 2022) anhand von alternierenden Flugstreifen. Aufgrund der beschränkten Bandbreite der Funkstrecken (zumeist 720 p oder 1080 p) muss hier jedoch eine deutliche Verschlechterung der Bodenauflösung in Kauf genommen werden (Kassigkeit 2021). Sehr gute Ergebnisse liefert die photogrammetrische

Verarbeitung von klassischen Nadir-Luftbildern. Dazu muss das Gebiet in alternierenden Flugstreifen mit sich überlappenden Bildaufnahmen überflogen werden. Die Verarbeitung der Aufnahmen kann erst nach der Landung der Drohne erfolgen und ist je nach Gebietsgröße, Bildanzahl und Bildgröße zeitaufwendig (PIX4D Blog 2022). Die Luftbilder müssen auf einen geeigneten Prozessier-Rechner kopiert werden und erst danach kann die Verarbeitung beginnen. Die Software *PIX4Dreact* erzeugt in kurzer Zeit sehr gute Ergebnisse (Kassigkeit 2021). Die Zeit der Prozessierung kann mit leistungsfähigen Grafikkarten optimiert werden. Trotzdem bleibt ein gewisser Zeitverzug vom Überflug der Drohne bis hin zum großräumigen Übersichtsbild.

Diese Lücke beabsichtigt das DLR zu schließen. Dazu wird seit vielen Jahren ein alternativer Ansatz des drohnenbasierten Echtzeit-Mapping (Hein et al. 2018) in Kooperation mit der Feuerwehr Duisburg (Berger et al. 2018) und der gemeinnützigen Hilfsorganisation *International Search and Rescue Germany* (ISAR 2022) entwickelt und erprobt. Es wurde zunächst die VTOL-Drohne *TRON F90+* der Quantum Systems GmbH mit einer *MACS* ausgestattet wie in Hein et al. (2019) beschrieben, um das Verfahren unter einsatzrealistischen Bedingungen erproben zu können (Feuerwehr Duisburg 2020). Der *TRON F90+* war ein idealer Erprobungsträger und die Erkenntnisse mündeten in der Entwicklung einer angepassten Version von *MACS* für den *Vector & Scorpion*.

### 3 VTOL-Drohne und MACS

Als Trägersystem von *MACS* kommt die VTOL-Drohne *Vector* der Quantum Systems GmbH zum Einsatz. Es handelt sich hierbei um ein unbemanntes Flächenflugzeug, welches vertikal starten und landen kann. Der *Vector* hat eine Spannweite von 2,8 m und kann bis zu zwei Stunden in der Luft betrieben werden. Die mittlere Fluggeschwindigkeit liegt bei 72 km/h und eine spezielle Funkstrecke ermöglicht Reichweiten von bis zu 15 km (Quantum Systems 2022). Die Payloadkapazität liegt bei 700 g. Der Flug kann manuell oder anhand von vorgegebenen Flugpfaden durchgeführt werden. Mit einer speziellen Erweiterung kann die Drohne auch in der Konfiguration *Scorpion* als sog. Tricopter betrieben werden (Quantum Systems 2022). Es handelt sich somit um ein sog. 2-in-1-System und je nach Umgebung oder Einsatzziel kann die passende Flugkonfiguration gewählt werden. In Kooperation mit dem Drohnenhersteller wurde eine spezielle Version von *MACS* entwickelt, womit eine Kartierung in Echtzeit möglich wird. Dazu wurden alle Komponenten des Kamerasystems auf die besonderen Anforderungen der beiden Trägersysteme (Abb. 1) angepasst.

Die aktuelle Version von *MACS* besteht aus einer hochauflösenden Nadir-Kamera und einem Embedded CPU Stack. Als Kameramodul kommt ein



Abb. 1: Unbemannte Fluggeräte mit integriertem MACS-Kamerasystem in der Flugkonfiguration Vector (links) und Scorpion (rechts)

CMOS-Vollformatsensor (AMS CMV50000 mit 47,5 MPx und RGB Bayer-Pattern) in Kombination mit einem 40 mm-Objektiv von *Schneider-Kreuznach* zum Einsatz. Durch die Verwendung von Industriekamera, Industrieobjektiv und Objektivadapter mit Industriegewinde (M58), können Kamera und Objektiv, sowie Fokus und Blende mechanisch fixiert werden. Dadurch wird eine stabile innere Orientierung des Kamerasystems erreicht (Kraft et al. 2016).

Blende und Fokus wurden so gewählt, dass eine scharfe Abbildung ab einer Entfernung von 35 m gegeben ist. Der diagonale Öffnungswinkel der Kamera beträgt 60°. Bei einer Flughöhe von 100 m über Grund ergibt sich eine nominelle Auflösung von 1,2 cm pro Pixel und eine Schwadbreite (quer zur Flugrichtung) von 90 m.

Die geometrische Kalibrierung des Kamerasystems erfolgte wie in Kraft et al. 2016 beschrieben. Damit sind die Parameter der inneren Orientierung wie Bildhauptpunkt ( $x_H, y_H$ ), Kammerkonstante ( $c_k$ ), radial-symmetrische Verzeichnung ( $k_1, k_2$ ) und tangentielle Verzeichnung ( $p_1, p_2$ ) bestimmt. Die Bestimmung der äußeren Orientierung erfolgt mittels GNSS-Empfänger und inertialem Messsystem (engl. *Inertial Measurement Unit*, kurz IMU) der VTOL-Drohne.

Der Embedded CPU Stack von MACS basiert auf dem *COM Express Mini Type 10* Standard und verfügt über einen leistungsstarken Prozessor (*Intel i7-1185G7E*) für den Bildeinzug und die Weiterverarbeitung der Luftbilddaufnahmen.

Jedem Nadir-Luftbild wird zum Zeitpunkt der Aufnahme die GNSS-Zeit, die geografische Position (Latitude, Longitude, Height) und die Fluglage (Roll,

Quelle: DLR und Quantum Systems



Abb. 2: CAD-Modell (links) und Aufbau (rechts) des MACS-Kamerasystems für Vector und Scorpion

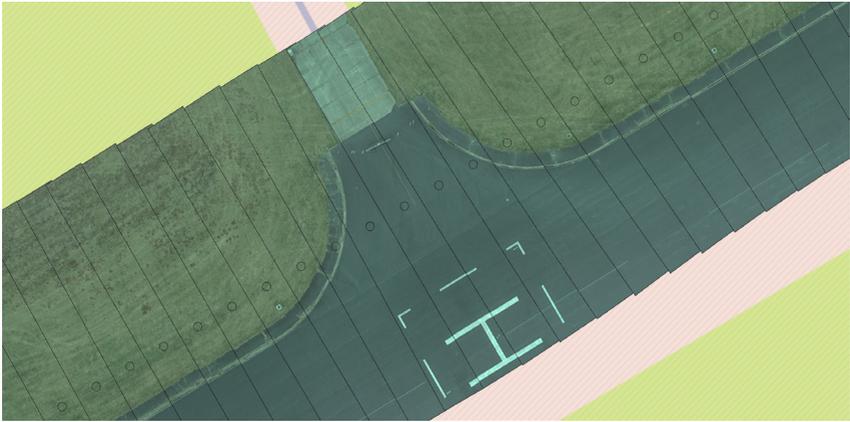
Pitch, Yaw) der VTOL-Drohne in Bezug zur Erdoberfläche zugeordnet (äußere Orientierung). Danach wird das Bild im RAW-Format (16 bit) mit den oben genannten Informationen auf einer wechselbaren Speicherkarte gespeichert (z. B. SanDisk Extreme Pro CFexpress Card mit 512 GB Speicher).

Gleichzeitig wird eine projektive Repräsentation des Luftbildes auf ein bekanntes Höhenmodell (z. B. SRTM30) berechnet wie in Hein et al. (2018) beschrieben. Diese Repräsentation wird komprimiert (z. B. 16-bit JPEG-2000) und als georeferenziertes Polygon zum Boden übertragen. Die aktuelle Version von MACS ist in der Lage drei Bilder pro Sekunde zu speichern und zu verarbeiten.

Die Funkstrecke der VTOL-Drohne ist so konfiguriert, dass darüber priorisiert die Steuerung der Drohne selbst erfolgt. Gleichzeitig kann MACS Bildinformationen zum Boden übertragen. Die im *Vector* verbaute Funkstrecke kommt vom Anbieter *Silvus Technologies* (Streamcaster Radios 2022). Es handelt sich hierbei um IP-basierte Funkgeräte (Broadcast Solutions 2022). Die Bildübertragung von MACS konnte im S-Band (gemäß IEEE) unter realen Bedingungen bis zu einer Reichweite von 6 km nachgewiesen werden. Laut Hersteller sind 15 km angegeben, dies konnte jedoch noch nicht unter realen Einsatzbedingungen getestet werden.

## 4 Visualisierung des Luftbildmosaiks am Boden

Trotz der stark vereinfachten Projektion der Luftbilder auf das Höhenmodell (SRTM30), welches auf der Interpolation zwischen den vier Eckpunkten der jeweiligen georeferenzierten Polygone basiert, bietet das resultierende Bildmosaik in schwach strukturiertem Gelände eine hohe Lagegenauigkeit (siehe [Abb. 3](#)).



**Abb. 3:** Visualisierung eines Flugstreifens mit Bildaufnahmeposition (Kreis) und Bildmosaiken (Polygone) von MACS im Vector

Die verbleibenden Projektionsfehler und die Gesamtqualität des Luftbildmosaiks werden vor allem durch die folgenden vier Punkte bestimmt:

- Genauigkeit und Auflösung des Höhenmodells
- Projektive Abbildungsfehler und Abschattung durch erhöhte Objekte. Dies betrifft vor allem Objekte wie Gebäude, Türme und Bäume, da diese nicht durch das Höhenmodell modelliert sind.
- Genauigkeit von GNSS-Empfänger und IMU der Drohne. Vor allem die Fehler in der Lagebestimmung haben einen großen Einfluss auf die Lagegenauigkeit der projizierten Einzelbilder.
- Projektionsfehler innerhalb eines projizierten Einzelbildes, welche durch die lineare Interpolation innerhalb des Bildes entstehen.

Alle diese Punkte haben Einfluss auf die Lagegenauigkeit der projizierten Bilder und können Abschattungen oder visuelle Brüche zwischen den benachbarten Luftbildern im Bildmosaik verursachen ([Abb. 3](#)).

Die Visualisierung der georeferenzierten Polygone erfolgt mit der Software *MACS RT-Viewer* (MACS-Box 2022). Durch die kontinuierliche Bildaufnahme von MACS und die Vorwärtsbewegung der Drohne entsteht ein stetig wachsendes Bildmosaik der überflogenen Bereiche. Mit einem IP-basierten Mobilfunkgerät vom Typ *Silvus SC4200EP* können die Polygone mit jedem Notebook empfangen werden (siehe [Abb. 4](#)). Dazu muss lediglich die IP-Adresse von MACS im Funknetzwerk bekannt sein. Somit kann die Echtzeit-Kartierung auch an verschiedenen Orten empfangen und durch unterschiedliche Bedarfsträger angeschaut werden. Mit dem *MACS RT-Viewer* kann beliebig durch das Bildmosaik navigiert werden. Bei Bedarf können zeitliche Teilbereiche oder auch



Quelle: DLR

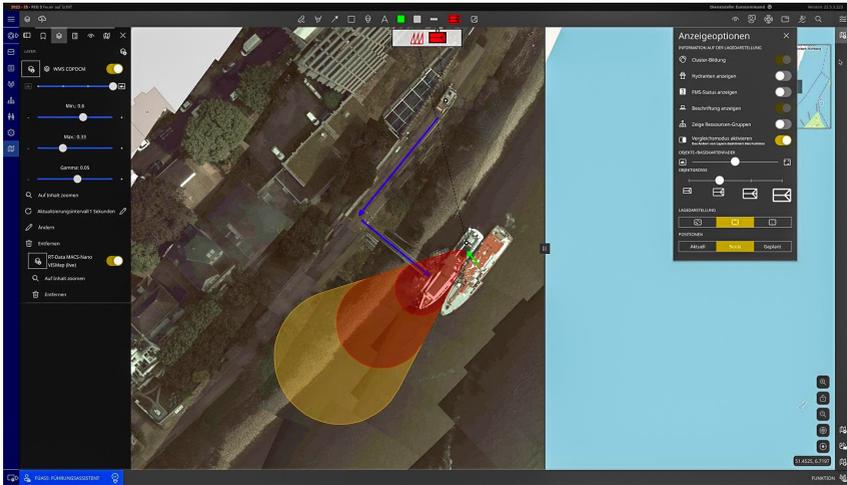
Abb. 4: VTOL-Drohne Vector mit MACS-Payload (links) und Notebook mit IP-Funkgerät (rechts) zur Visualisierung des Luftbildmosaik

das gesamte Bildmosaik exportiert werden (z. B. als GeoTiff oder als KMZ). Die Funkstrecke ermöglicht ebenfalls eine verschlüsselte Datenübertragung (z. B. DES-56 oder AES-256).

## 5 Technologieerprobung und Ergebnisse

Die Entwicklung und Erprobung von MACS in Kombination mit VTOL-Trägersystemen erfolgt seit vielen Jahren zusammen mit der Feuerwehr Duisburg und der gemeinnützigen Hilfsorganisation ISAR Germany. Beide Organisationen haben Bedarf an der schnellen Aufklärung von großräumigen Schadenslagen.

Die Vision der Feuerwehr Duisburg ist es, Lagebilder von Einsatzstellen den Rettungskräften zur Verfügung zu stellen, noch bevor diese am Einsatzort ankommen (Feuerwehr Duisburg 2022). Die Feuerwehr hat regelmäßig spezielle Einsatzlagen, in denen eine großräumige Aufklärung aus der Luft einen entscheidenden Vorteil bringen würde. Dies sind z. B. Personen im Rhein, Schiffshavarien und Industrieunfälle. Durch die trockenen Sommer der letzten Jahre rückt auch die Aufklärung von Waldbränden mehr und mehr in den Fokus. Die gemeinsame Entwicklung und Erprobung erfolgt im Rahmen des Projektes *Live-Lage* (Live-Lage 2022) und des Helmholtz Innovation Lab *OPTSAL*. Die Feuerwehr Duisburg ist die erste in Deutschland, die regelmäßig eine VTOL-Drohne betreibt. In unterschiedlichen Übungsszenarien konnten VTOL-Drohne und MACS einsatzrealistisch erprobt und stetig weiterentwickelt werden (DLR 2022a, CP 2021, Bundesregierung 2020, DLR 2018). Im Mai 2022 konnten erstmals Luftbilder vom *Vector* der Feuerwehr aus in das eigene Einsatzführungssystem übertragen werden (Stadt Duisburg 2022). Es handelt sich hierbei um die Einsatzführungssoftware *CommandX* der Eurocommand GmbH (EC 2022). Im Ergebnis konnte mit der Übung gezeigt werden, dass das Verfahren der



Quelle: DLR und Eurocommand

Abb. 5: Luftbildmosaik von MACS im Einsatzführungssystem der Feuerwehr Duisburg mit havariertem Schiff, Löschbot und Einsatzfahrzeug

Echtzeit-Kartierung technisch funktioniert. An verschiedenen Stellen konnte das Luftbildmosaik empfangen werden und anrückende Einsatzkräfte konnten die Lage vor dem Eintreffen an der Einsatzstelle beurteilen. Anhand der Aufnahmen wurden Personen im Wasser erkannt und die Rauchausbreitung eines havarierten Schiffes bestimmt (siehe Abb. 5).



Quelle: DLR

Abb. 6: Unterstützung der Berliner Feuerwehr mit MACS und Vector im August 2022 nach den Explosionen auf dem Sprenggelände im Berliner Grunewald

Im August 2022 konnten *MACS* und *Vector* bei einem realen Einsatz der Berliner Feuerwehr unterstützen (siehe Abb. 6). Am 4. August ereigneten sich mehrere Explosionen auf dem Sprenggelände im Berliner Grunewald. Dabei wurden dort lagernde illegale Feuerwerkskörper, Bomben-Blindgänger und Granaten im anliegenden Waldgebiet großräumig verteilt (Berlin 2022). Am 9. August konnte das Sperrgebiet vollständig mit *MACS* und *Vector* dokumentiert werden. Es wurden 140 ha mit einer Bodenauflösung von 1,5 cm pro Pixel kartiert (DLR 2022b). Die Luftbilder konnten in Echtzeit übertragen werden und darüber hinaus ist das vollständige Bildmosaik direkt nach dem Flug in das Einsatzführungssystem der Berliner Feuerwehr eingespielt worden. Somit war eine Lagebeurteilung durch verschiedene Einsatzkräfte und Einsatzstellen möglich, was die allgemeine Einschätzung der Lage maßgeblich unterstützte.

Ein weiterer Anwendungsfall ist die Einsatzunterstützung von *ISAR Germany* bei internationalen Hilfsmissionen nach verheerenden Naturkatastrophen. Mitarbeitende des DLR sind Teil des Voraus- und Hauptteams von *ISAR Germany*, um den Einsatz von *MACS* und *Vector* im Katastrophengebiet zu ermöglichen (ISAR 2022). Mit der Fähigkeit des drohnenbasierten Live-Mapping können sich die Einsatzkräfte vor Ort schnell einen Überblick über das Katastrophen- und Einsatzgebiet verschaffen. Bei einer Großübung im November 2022 konnte erstmalig eine erfolgreiche Übertragung des Luftbildmosaiks über das Satellitennetzwerk *Starlink* des US-Raumfahrtunternehmens SpaceX gezeigt werden (DLR 2022c) (siehe Abb. 7). Mit dieser Fähigkeit können die Ergebnisse standortunabhängig, unmittelbar und weltweit mit Einsatzstäben und

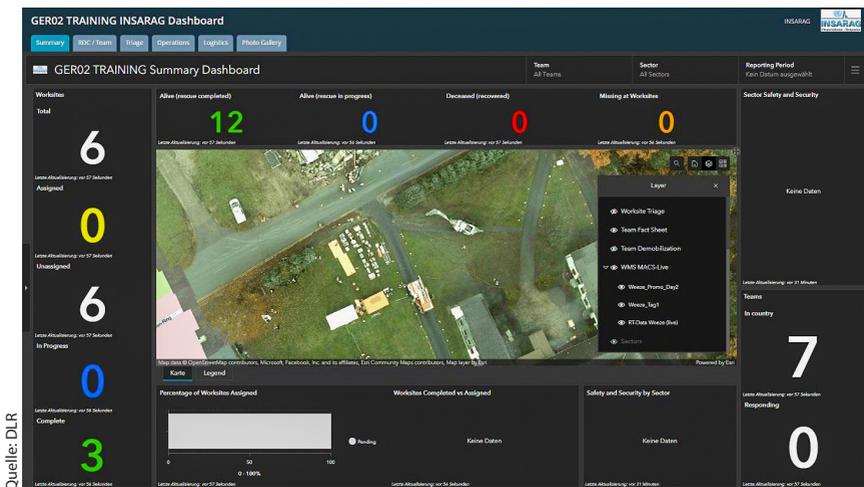


Abb. 7: Luftbildmosaik der ISAR-Übung im ICMS der Vereinten Nationen. Aufgenommen mit *MACS* und *Scorpion* im November 2022.

Informationsplattformen geteilt werden – auch bei vor Ort zerstörter Telekommunikationsinfrastruktur.

Ein weiteres Ziel der Kooperation ist die Einbindung der Luftbildmosaike in die zentrale Informationsplattform der Vereinten Nationen, dem *INSARAG Coordination Management System (ICMS)*. Dieser entscheidende Schritt konnte während der Übung erstmalig demonstriert werden. Somit werden ab sofort die Luftbildmosaike im Einsatzfall automatisch an alle im Land beteiligten *Urban Search and Rescue (USAR) Teams*, deren Lagestäbe in den Heimatländern und dem zentralen Krisenstab der Vereinten Nationen verteilt und können dazu beitragen, einsatzrelevante Entscheidungsprozesse zu unterstützen. Damit leistet das DLR einen wichtigen Beitrag zur effektiven Nutzung seiner Technologien bei internationalen Hilfseinsätzen.

## 6 Fazit

Es konnte gezeigt werden, dass mit dem beschriebenen Kamerasystem *MACS* und der VTOL-Drohne *Vector* in Echtzeit aktuelle Luftbildmosaike von betroffenen Regionen erstellt werden können. Der Einsatz des *Vector* hat sich als ideales Trägersystem herausgestellt, da keine Start- und Landebahn erforderlich ist. Durch die spezielle Funkstrecke können *MACS* und *Vector* ohne komplizierte Infrastruktur schnell und bedarfsgerecht eingesetzt werden. Aufgrund der langen Flugzeit, schnellen Fluggeschwindigkeit und großen Reichweite des *Vector*, werden große Gebiete innerhalb kurzer Zeit aufgeklärt. *MACS* liefert zuverlässig hochauflösende und scharfe Luftbilder und diese können am Boden in Echtzeit auf einem mobilen Endgerät visualisiert werden. Die resultierenden Luftbildmosaike können exportiert und in andere Geoinformationssysteme (GIS) importiert werden. Somit stehen diese Ergebnisse anderen Beteiligten jederzeit zur Verfügung.

Die Erprobung von *MACS* und *Vector* unter realen Einsatzbedingungen hat gezeigt, welches Potenzial in der prototypischen Lösung steckt und wie das Konzept die Erkundung und Rettungskette an verschiedenen Stellen verbessern kann. Die geografisch korrekte Darstellung der Aufnahmen als Luftbildmosaik, als Überlagerung in einer digitalen Karte, verbessert die Einschätzung der Lage maßgeblich. Der aktuelle Zustand am Boden kann gezielt analysiert werden und in Verbindung mit vorhanden Informationen ein Vorher-Nachher-Vergleich erfolgen. Es können Schäden an Gebäuden, Verkehrswegen und kritischen Infrastrukturen nach Unfällen oder Naturkatastrophen entdeckt werden. Anomalien wie z. B. Rauch, Erdbeben oder Überschwemmungen können ebenfalls einfach identifiziert werden. Unter gewissen Voraussetzungen können auch Personen erkannt werden. Die Fähigkeit zum Export und Verteilen der

Luftbildmosaike kann die Koordination der Hilfsmaßnahmen deutlich verbessern. Die resultierenden Karten können ebenfalls für die Navigation verwendet werden, um z. B. die Orientierung von Ersthelfern im Katastrophen- oder Schadensgebiet zu unterstützen.

Die Stärke der hier vorgestellten Lösung ist die schnelle Visualisierung der Luftbilder im zeitlichen und geografischen Kontext. Der *Vector* ermöglicht das Überfliegen großer Gebiete und die verbaute Funkstrecke ermöglicht die nachgewiesene Bildübertragung im Flug von bis zu 6 km. Laut Hersteller sind 15 km angegeben, dies konnte jedoch noch nicht unter realen Einsatzbedingungen getestet werden. Mit den resultierenden Luftbildmosaikern lässt sich das Ausmaß der Zerstörung der überflogenen Bereiche direkt bewerten.

Da die Visualisierung maßgeblich von der Äußeren Orientierung und dem zugrunde liegenden Höhenmodell abhängig ist, können visuelle Brüche oder Abschattungen entstehen, welche die Interpretation der Lage erschweren. Dies ist z. B. bei starkem Relief, bei überhöhten Objekten oder bei schlechter Genauigkeit der Positions- und Lagebestimmung der Drohne der Fall. Dies überträgt sich dann direkt auf das Ergebnis der Visualisierung.

Das Konzept wird mit den beteiligten Projektpartnern stetig weiterentwickelt. So soll z. B. die Integration einer Thermalkamera erfolgen, um Einsätze in der Nacht zu ermöglichen. Es wird ebenfalls die Option zur Aufnahme von Schrägluftbildern geprüft, da damit z. B. der Zerstörungsgrad von Gebäuden besser beurteilt werden kann (Vetrivel et al. 2016, Duarte et al. 2017). Im Rahmen von *OPTSAL* wird der Technologietransfer begleitet, sodass in der Zukunft aus der aktuellen Lösung auch ein Service oder ein Produkt werden kann.

## Literatur

- Berger, R., Bayer, S., Helmrich, J., Kraft, T. (2018): Entwicklung und Erprobung eines neuartigen Konzeptes zur schnellen Aufklärung von Einsatzlagen – Eine Kooperation zwischen der Feuerwehr Duisburg und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Jahresfachtagung der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V., 28.–30. Mai 2018, Duisburg. DOI: <https://elib.dlr.de/120806/>.
- Berlin (2022): Feuer nach Explosion im Grunewald. [www.berlin.de/aktuelles/7672047-958090-feuer-grunewald-explosion-verkehrseinsch.html](http://www.berlin.de/aktuelles/7672047-958090-feuer-grunewald-explosion-verkehrseinsch.html), letzter Zugriff 12/2022.
- BOS Drohneneinheiten Deutschland (2022): <https://drohneneinheit.de/einheiten/>, letzter Zugriff 12/2022.
- BroadcastSolutions(2022):<https://broadcast-solutions.de/de/behoerdenkommunikation/produkte-loesungen/silvus-technologies/>, letzter Zugriff 12/2022.
- Bundesregierung (2020): Drohne dirigiert Rettungskräfte in Echtzeit. [www.bundesregierung.de/breg-de/service/archiv/sicherheitsforschung-live-lage-1806820](http://www.bundesregierung.de/breg-de/service/archiv/sicherheitsforschung-live-lage-1806820), letzter Zugriff 12/2022.

- CP (2021): Crisis Prevention Magazin 04/2021, Mit Hightech aus Deutschland vor der Lage. [www.flipsnack.com/betapublishing/cp\\_4-2021\\_inhalt-mit-umschlag/full-view.html](http://www.flipsnack.com/betapublishing/cp_4-2021_inhalt-mit-umschlag/full-view.html), letzter Zugriff 12/2022.
- DLR (2018): DLR-Forschung hilft in Katastrophenfällen. [www.dlr.de/content/de/artikel/news/2018/2/20180530\\_dlr-forschung-hilft-in-katastrophenfaellen\\_27975.html](http://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2018/2/20180530_dlr-forschung-hilft-in-katastrophenfaellen_27975.html), letzter Zugriff 12/2022.
- DLR (2022a): DLR und Feuerwehr erproben Lageaufklärung in Echtzeit. [www.dlr.de/content/de/artikel/news/2022/02/20220610\\_dlr-und-feuerwehr-erproben-lageaufklaerung-in-echtzeit.html](http://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2022/02/20220610_dlr-und-feuerwehr-erproben-lageaufklaerung-in-echtzeit.html), letzter Zugriff 12/2022.
- DLR (2022b): Präzise Luftbilddaten in Echtzeit für die Lagebeurteilung. [www.dlr.de/content/de/artikel/news/2022/03/20220812\\_praezise-luftbilddaten-in-echtzeit-fuer-die-lagebeurteilung.html](http://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2022/03/20220812_praezise-luftbilddaten-in-echtzeit-fuer-die-lagebeurteilung.html), letzter Zugriff 12/2022.
- DLR (2022c): Mit Luftbildkarten weltweit helfen. [www.dlr.de/content/de/artikel/news/2022/04/20221205\\_mit-luftbildkarten-weltweit-helfen.html](http://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2022/04/20221205_mit-luftbildkarten-weltweit-helfen.html), letzter Zugriff 12/2022.
- Drohnen im Bevölkerungsschutz (2022): Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK), Ergebnisbericht zur Online-Befragung 2021. [www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Mediathek/Publikationen/Krisenmanagement/ergebnisbericht-online-befragung-2021-drohnen.pdf](http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Mediathek/Publikationen/Krisenmanagement/ergebnisbericht-online-befragung-2021-drohnen.pdf), letzter Zugriff 12/2022.
- DroneDeploy (2022): [www.dronedeploy.com/product/live-map/](http://www.dronedeploy.com/product/live-map/), letzter Zugriff 12/2022.
- Duarte, D., Nex, F., Kerle, N., Vosselman, G. (2017): Towards a more efficient detection of earthquake induced façade damages using oblique UAV imagery. ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W6, 93–100. DOI: [10.5194/isprs-archives-XLII-2-W6-93-2017](https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W6-93-2017).
- EC (2022): Website der Eurocommand GmbH. [www.eurocommand.com](http://www.eurocommand.com), letzter Zugriff 12/2022.
- Feuerwehr Duisburg (2022): Das Forschungsprojekt Live-Lage. [www.duisburg.de/microsites/feuerwehr/feuerwehr/seh/livelage.php](http://www.duisburg.de/microsites/feuerwehr/feuerwehr/seh/livelage.php), letzter Zugriff 12/2022.
- Hein, D., Berger, R. (2018): Terrain Aware Image Clipping for Real-Time Aerial Mapping. In: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, IV (1), 61–68. Copernicus Publications. ISPRS TC I Midterm Symposium – Innovative Sensing – From Sensors to Methods and Applications, 9. Okt. – 12. Okt. 2018, Karlsruhe, Deutschland. ISSN 2194-9042. DOI: [10.5194/isprs-annals-IV-1-61-2018](https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-1-61-2018).
- Hein, D., Kraft, T., Brauchle, J., Berger, R. (2019): Integrated UAV-Based Real-Time Mapping for Security Applications. ISPRS International Journal of Geo-Information, 8 (5), 1–16. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). DOI: [10.3390/ijgi8050219](https://doi.org/10.3390/ijgi8050219).
- HIL OPTSAL (2022): Helmholtz Innovation Lab OPTSAL (Optical Technologies for Situational Awareness). [www.optsal.de](http://www.optsal.de), letzter Zugriff 12/2022.
- ISAR (2016): DLR und I.S.A.R. – Gemeinsam für die schnelle Rettung. [www.dlr.de/content/de/artikel/news/2016/20161118\\_dlr-und-i-s-a-r-gemeinsam-fuer-die-schnelle-rettung\\_20120.html](http://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2016/20161118_dlr-und-i-s-a-r-gemeinsam-fuer-die-schnelle-rettung_20120.html), letzter Zugriff 12/2022.
- ISAR (2022): DLR und ISAR Germany verlängern Kooperationsvereinbarung. [www.dlr.de/content/de/artikel/news/2022/02/20220518\\_technologien-fuer-das-krisen-und-katastrophenmanagement.html](http://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2022/02/20220518_technologien-fuer-das-krisen-und-katastrophenmanagement.html), letzter Zugriff 12/2022.

- Kassigkeit, J. (2021): Vergleich von Verfahren zur Aufklärung zeitkritischer Einsatzlagen der Feuerwehr mithilfe georeferenzierter Drohnen-Luftbilder. Bachelorarbeit, Beuth University of Applied Sciences. DOI: <https://elib.dlr.de/143802/>.
- Kraft, T., Geßner, M., Meißner, H., Cramer, M., Gerke, M., Przybilla, H. J. (2016): Evaluation of a metric camera system tailored for high precision UAV applications. ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B1, 901–907. DOI: [10.5194/isprs-archives-XLI-B1-901-2016](https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B1-901-2016).
- Live-Lage (2022): DLR Projekt Live-Lage. [www.dlr.de/os/desktopdefault.aspx/tabid-12893/22517\\_read-52089/](http://www.dlr.de/os/desktopdefault.aspx/tabid-12893/22517_read-52089/), letzter Zugriff 12/2022.
- MACS (2022): Website des Modular Aerial Camera System (MACS) vom DLR. [www.dlr.de/macs](http://www.dlr.de/macs), letzter Zugriff 12/2022.
- MACS-Box (2022): Software Suite für das vom DLR entwickelte Modular Aerial Camera System (MACS). <https://macs.dlr.de/box>, letzter Zugriff 12/2022.
- PIX4D Blog (2022): Helping to protect the rainforest in Peru with drone mapping. [www.pix4d.com/blog/aerial-drone-mapping-amazon-rainforest](http://www.pix4d.com/blog/aerial-drone-mapping-amazon-rainforest), letzter Zugriff 12/2022.
- Quantum Systems (2022): Offizielle Website der Quantum Systems GmbH. [www.quantum-systems.com](http://www.quantum-systems.com), letzter Zugriff 12/2022.
- Stadt Duisburg (2022): Live-Lage Übung der Feuerwehr Duisburg am Binnenhafen. <https://youtu.be/7TfYeklolVc>, letzter Zugriff 12/2022.
- Steinhoff, C. (2021): Einsatz von Drohnen für den Medikamententransport und das Rettungswesen. Unfallchirurg 124, 965–973 (2021). DOI: [10.1007/s00113-021-01098-0](https://doi.org/10.1007/s00113-021-01098-0).
- Streamcaster Radios (2022): Offizielle Website von Silvus Technologies. <https://silvus-technologies.com/products/streamcaster-radios/>, letzter Zugriff 12/2022.
- Vetrivel, A., Duarte, D., Nex, F., Gerke, M., Kerle, N., Vosselman, G. (2016): Potential of multi-temporal oblique airborne imagery for structural damage assessment. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume III-3, 355–362. DOI: [10.5194/isprs-annals-III-3-355-2016](https://doi.org/10.5194/isprs-annals-III-3-355-2016).

## Kontakt

Thomas Kraft

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Institut für Optische Sensorsysteme | Sicherheitsforschung & Anwendungen

Rutherfordstraße 2, 12489 Berlin

[thomas.kraft@dlr.de](mailto:thomas.kraft@dlr.de)