

## Eine RPAS-Bodenstation mit Panoramabildschirm

Peter Marcus Lenhart & Jakob Gammel

### Zusammenfassung

Unbemannte Luftfahrzeuge sollen schrittweise in das Europäische Luftverkehrssystem integriert werden. Neben dem Fluggerät gehört eine Bodenstation zu den Kernkomponenten solcher *Remotely-Piloted Aircraft Systems* (RPAS). Für einen sicheren Flugbetrieb muss die Bodenstation (*Remote Pilot Station*, RPS) eine effektive und effiziente Kooperation zwischen Mensch und Maschine sicherstellen. Insbesondere muss die RPS so gestaltet sein, dass die Situation Awareness des Remote Pilot jederzeit gewährleistet ist.

Am Zentrum für Aviatik der ZHAW wird dazu der Prototyp einer Bodenstation mit Grossformat Panoramabildschirm entwickelt. Als Anzeigemedium wird ein grosser, hochauflösender Panoramabildschirm (4K Display) mit 140 cm Bildschirmdiagonale eingesetzt.

Drei originäre Anzeigeformate wurden definiert und implementiert: *Perspective Situation Display* (PSD), *Horizontal Situation Display* (HSD) und *System Situation Display* (SSD). Die Sensorsicht der Bordkamera bildet eine vierte Anzeige welche die synthetische Sicht in PSD und HSD ergänzt. Die Gestaltung der synthetischen Sicht im PSD berücksichtigt den dislozierten Arbeitsplatz eines Remote Pilot (exozentrische Perspektive) und unterscheidet sich damit wesentlich von einer solchen Anzeige in einem bemannten Luftfahrzeug. Es wurden verschiedene Varianten für die Anordnung der vier Anzeigen auf dem Panoramabildschirm entwickelt.

Parallel wurde eine Versuchsmethode ausgearbeitet und validiert um die Gebrauchstauglichkeit der verschiedenen Varianten systematisch zu untersuchen. Dabei kommt ein kombiniertes *Eye- and Head-Tracking System* zum Einsatz, welches ebenfalls am Zentrum für Aviatik entwickelt wurde.

### 1 Ausgangssituation

Unbemannte Luftfahrzeuge sollen schrittweise in das Europäische Luftverkehrssystem integriert werden (ERSG, 2013). Die geltenden Gesetze und Verfahren der bemannten Luftfahrt basieren auf dem Grundsatz, dass es für jedes Luftfahrzeug einen verantwortlichen Luftfahrzeugführer gibt. Dieser trägt die Verantwortung für eine sichere Flugdurchführung und kann im Schadensfall juristisch haftbar gemacht werden. Das gleiche Prinzip muss auch für unbemannte Luftfahrzeuge

gelten, sollen sie in das bestehende Luftverkehrssystem integriert werden. Im offiziellen englischen Sprachgebrauch wird daher bewusst von *Remotely-Piloted Aircraft* (RPA) gesprochen, also ferngesteuerten Luftfahrzeugen. Der verantwortlichen Luftfahrzeugführer wird offiziell als *Remote Pilot* (RP) bezeichnet. Er überwacht und bedient das RPA über eine Bodenstation, die Remote Pilot Station (RPS). Das Gesamtsystem aus Bodenstation und unbemanntem Luftfahrzeug wird als Remotely-Piloted Aircraft Systems (RPAS) bezeichnet.

Ein erster Gesetzesvorschlag der EASA unterscheidet drei Kategorien von Drohnen (EASA, 2015). Für die oberste Kategorie dürfen gesetzliche Auflagen ähnlich denen in der bemannten Luftfahrt erwartet werden. Umgekehrt bedeutet dies aber auch, dass bei Erfüllung entsprechender Sicherheitsvorschriften ein Flugbetrieb „*beyond visual line of sight*“ (BVLOS) möglich werden sollte. Also ein Flugbetrieb, bei dem die Drohne für den Remote Pilot nicht mehr mit bloßem Auge sichtbar ist.

Für einen sicheren Flugbetrieb muss die Bodenstation eine effektive und effiziente Kooperation zwischen Mensch und Maschine sicherstellen. Aus der bemannten Luftfahrt weiß man, dass das Situationsbewusstsein des Piloten wesentlich für einen sicheren Flugbetrieb ist (Jones & Endsley, 1996). In vier von fünf Fällen handeln oder entscheiden Piloten falsch, weil sie die Situation falsch einschätzen (Endsley, 1997). Im Englischen spricht man vom *Loss of Situation Awareness*, also dem Verlust des Situationsbewusstseins. Insbesondere muss die RPS also so gestaltet sein, dass die Situation Awareness des Remote Pilot jederzeit gewährleistet ist, vor allem dann, wenn BVLOS geflogen wird.

## 2 Remote Pilot Station

Am Zentrum für Aviatik der ZHAW wird der Prototyp einer Bodenstation mit Großformat-Panoramabildschirm entwickelt. Als zentrales Anzeigemedium wird ein großer, hochauflösender Bildschirm (4K Display) mit 140 cm Bildschirmdiagonale eingesetzt. Die große Bildfläche erlaubt die Projektion einer synthetischen Sicht oder einer Sensorsicht als großflächiges Panoramabild (siehe Kapitel 3). Hieraus leitet sich die Bezeichnung Panoramabildschirm ab.

Der Bildschirm ist auf einem höhenverstellbaren Tisch montiert. Für die Bedienung stehen eine Tastatur, ein *Cursor Control Device* (Touchpad oder Computermaus), ein Steuerknüppel und eine Konsole mit Schubhebel zur Verfügung. Ergänzt wird der Aufbau mit einem berührungsempfindlichem Bildschirm mit 24 cm Bildschirmdiagonale (Bild 1).

Die hohe Auflösung des Panoramabildschirms erlaubt einen für Bildschirmarbeitsplätze üblichen Sitzabstand. Die daraus resultierende Bildentfernung von circa einem Meter in Kombination mit der großen Bildfläche bewirkt jedoch, dass nur ein Teil des Bildschirms im zentralen Blickfeld des Betrachters liegt (Bild 2 und Bild 3).

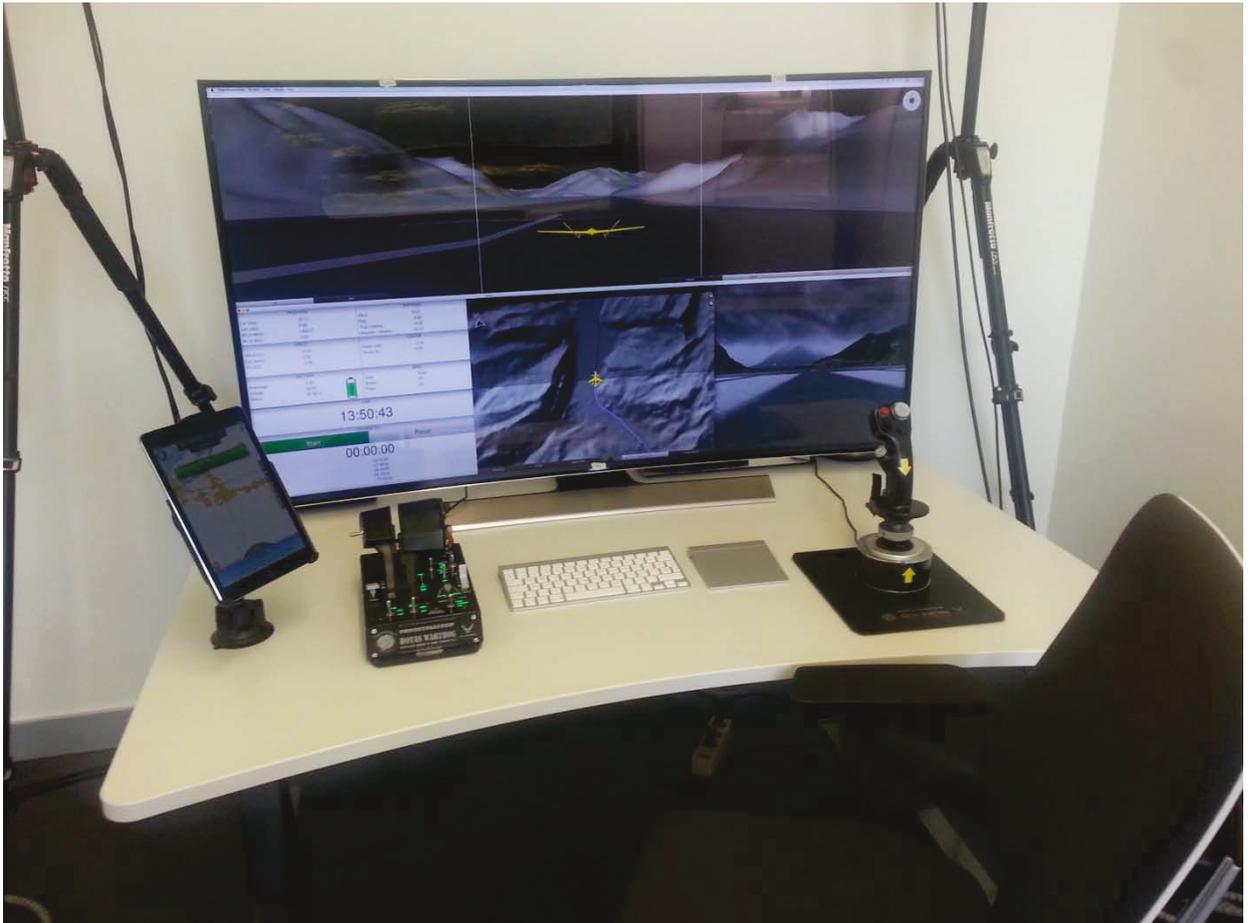


Bild 1: Remote Pilot Station

Für die Gestaltung der Anzeige ergeben sich zwei Anforderungen, die in Einklang gebracht werden müssen. Zum einen müssen alle notwendigen Informationen so präsentiert werden, dass die Situation Awareness des Remote Pilot jederzeit sichergestellt ist. Gleichzeitig sollen die Blick- und Kopfbewegungen des Remote Pilot durch eine geschickte Anordnung der Anzeigeformate auf ein Minimum reduziert werden.

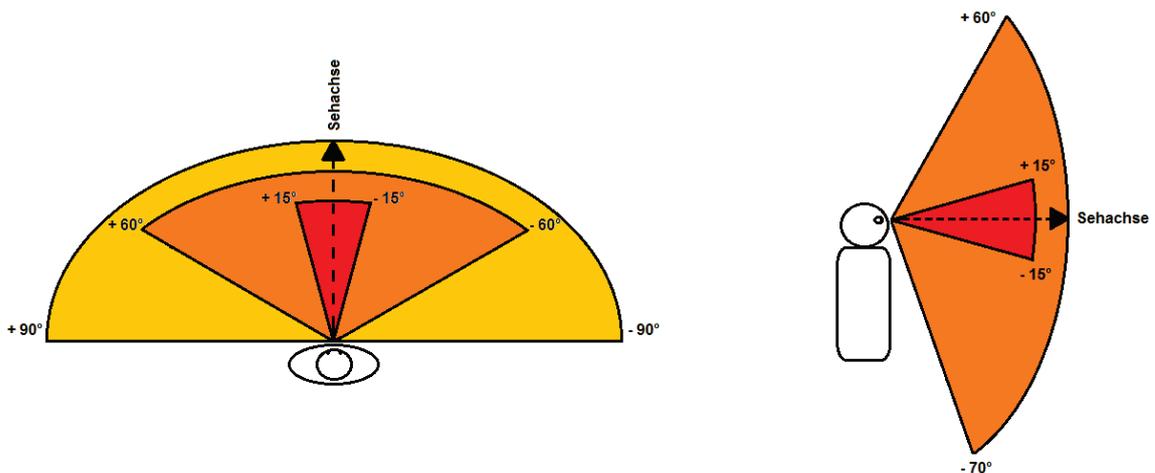


Bild 2: Zentrales, peripher binokulares und peripher monokulares Blickfeld des Menschen

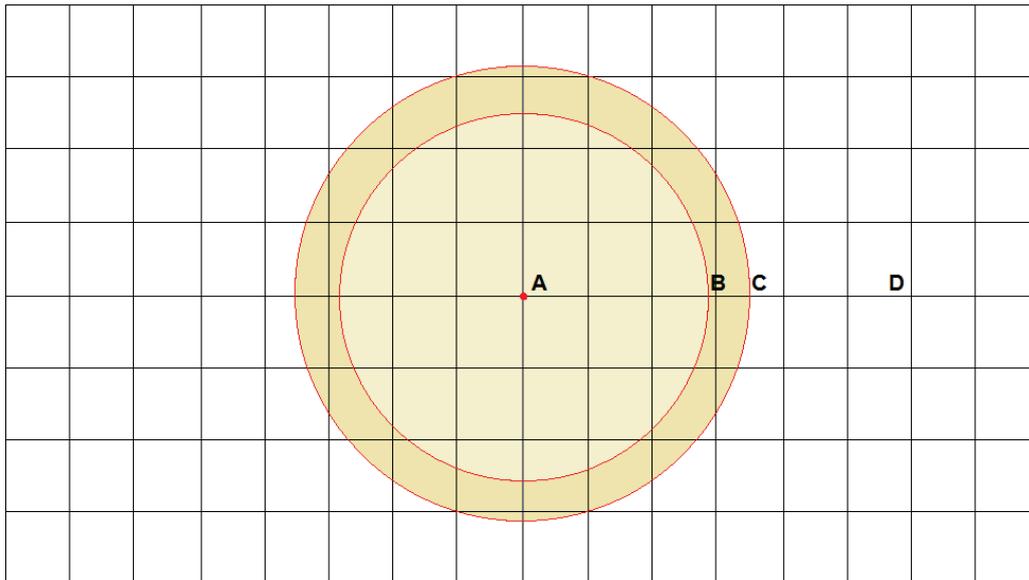


Bild 3: Blickfeld auf dem Panoramabildschirm abhängig vom Sitzabstand: Blickfeldmittelpunkt (A), Grenze des zentralen Blickfelds bei 80 cm Bildentfernung (B) und bei einem Meter Bildentfernung (C), peripheres Blickfeld (D)

### 3 Anzeigeformate

In der bemannten Luftfahrt haben sich Cockpitanzeigen mit synthetischer Sicht (*Synthetic Vision*, SV) oder Sensorsicht (*Enhanced Vision*, EV) etabliert (Warwick, 2012). Die bildhafte Darstellung reduziert die kognitive Beanspruchung, da sie die mentale Integration ein- und zweidimensionaler Informationen weitgehend überflüssig macht (Lenhart, 2012). Sie beugt damit wirkungsvoll einem Verlust des räumlichen Situationsbewusstseins vor.

In Anlehnung an solche Cockpitanzeigen wurden drei originäre Anzeigeformate für den Panoramabildschirm der Bodenstation definiert und implementiert: Perspective Situation Display (PSD), Horizontal Situation Display (HSD) und System Situation Display (SSD). Die Sensorsicht der Bordkamera bildet eine vierte Anzeige, welche die synthetische Sicht in PSD und HSD ergänzt.

Das Zentrum für Aviatik der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) betreibt eine eigene Drohne für Forschungszwecke, das *Unmanned Modular Airborne Research System* (UMARS). Dabei handelt es sich um ein ferngesteuertes Flächenflugzeug mit fünf Metern Spannweite und Elektroantrieb (Bild 4). Die Anzeigehalte sind für die Bedienung und Überwachung dieser Drohne ausgelegt.



Bild 4: UMARS

Das Perspective Situation Display bietet dem Drohnenpiloten eine synthetische Sicht, die sich in ihrer Ausprägung wesentlich von einer entsprechenden Cockpit-anzeige unterscheidet. In Bild 5 deckt das Sichtfeld 180° horizontal und 60° vertikal ab. Um Verzerrungen durch die perspektivische Projektion zu vermeiden, setzt sich die synthetische Sicht aus drei Segmenten von je 60° x 60° zusammen.

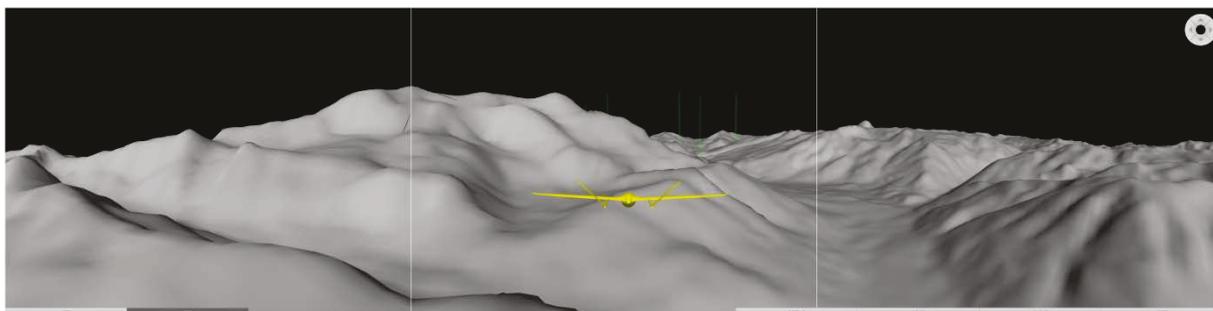


Bild 5: Perspective Situation Display (PSD)

Die synthetische Sicht berücksichtigt den dislozierten Arbeitsplatz eines Remote Pilot. Er kann zwischen verschiedenen egozentrischen und exozentrischen Perspektiven wählen (Bild 6). So kann er die Darstellung der Situation und Flugaufgabe anpassen.

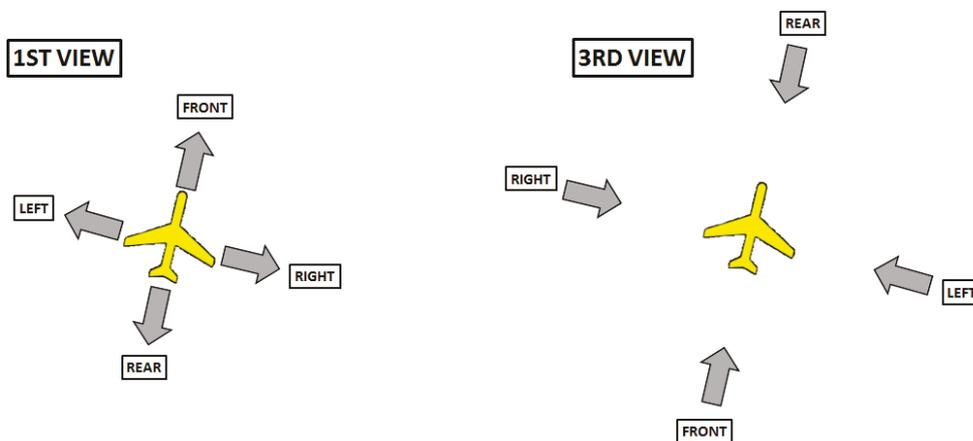


Bild 6: Egozentrische (1ST VIEW) und exozentrische (3RD VIEW) Perspektiven im PSD

Die Bedienung kann dabei wahlweise über interaktive Schaltflächen auf dem Bildschirm oder über Taster auf dem Steuerknüppel erfolgen (Bild 7).



Bild 7: Steuerknüppel mit Tasten zur Steuerung der Sichtachse von PSD und Bordkamera

Außerdem können bei exozentrischer Perspektive die drei Lagewinkel der synthetischen Sicht zwischen flugzeugfest und erdfest umgeschaltet werden. Zur Veranschaulichung dient der Kurvenflug: Bei einer flugzeugfesten Projektion neigt sich das Horizontbild im PSD, das Flugzeugsymbol bleibt fix. Bei der erdfesten Projektion bleibt das Horizontbild unverändert. Stattdessen neigt sich das Flugzeugsymbol in Kurvenrichtung.

Das Horizontal Situation Display bietet eine synthetische Sicht aus der Vogelperspektive (Bild 8). Es entspricht in seiner Funktion dem *Navigation Display* bemannter Flugzeuge.

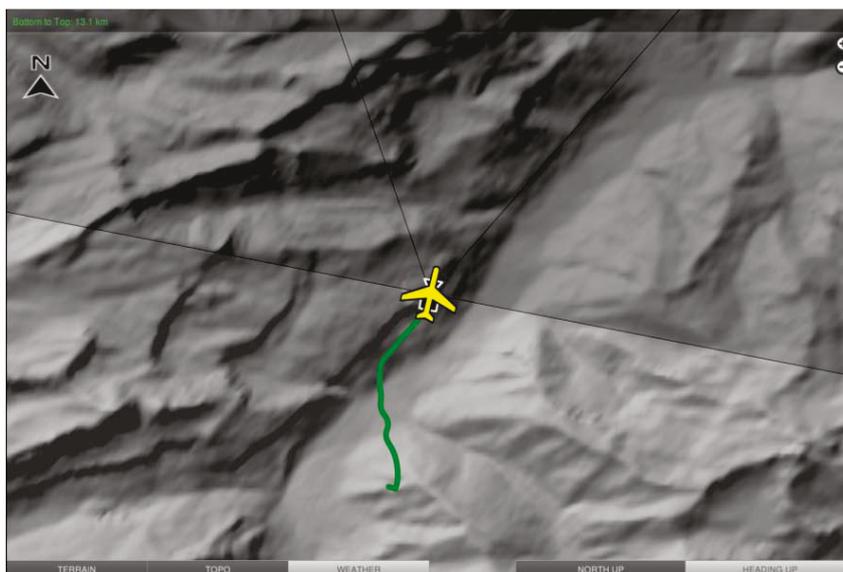


Bild 8: Horizontal Situation Display (HSD)

Damit der Betrachter die synthetische Sicht im PSD dem im HSD gezeigten Geländeausschnitt zuordnen kann, wird das horizontale Sichtfeld des PSD im HSD markiert (Bild 9).

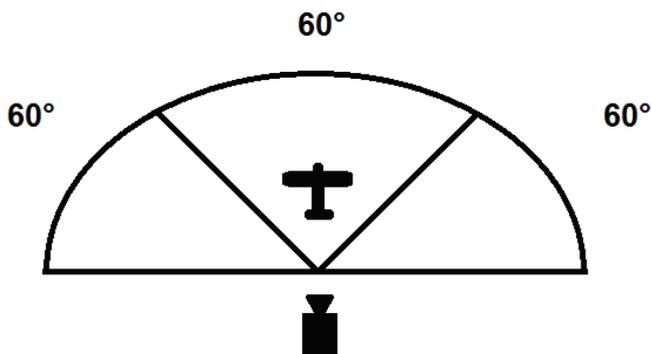


Bild 9: Markierung des PSD-Sichtfeldes im HSD

Das System Situation Display informiert den Piloten über den Zustand und die Konfiguration der Bordsysteme der Drohne (Bild 10). Die wichtigsten Bordsysteme des UMARS sind der elektrische Antrieb inklusive Stromversorgung sowie der Flugregler und die zugehörige Flugsteuerung. Systemparameter der Nutzlast werden ebenfalls im SSD angezeigt.

POSITION		ATTITUDE	
Lat (deg):	46.95	Pitch:	-1.99
Lon (deg):	9.01	Roll:	1.15
Alt (ft AMSL):	7478.55	True Heading:	13.42
Alt (ft AGL):	3560.70	Magnetic Heading:	13.28
SPEED		ENGINE	
IAS (km/h):	114.72	Power (kW):	-0.00
GS (km/h):	128.25	Thrust (lb):	-1.29
BATTERY		MISC	
Amperage:	0.00	Gear:	Up
Voltage:	24.00	Brakes:	On
Status:	89.12 % 	Flaps:	Up
TIME			
15:16:18			
STOPWATCH			
Stop		Lap	
04:09.98			
L1: 00:50.21		L6: 00:00	
L2: 01:10.96		L7: 00:00	
L3: 01:41.38		L8: 00:00	
L4: 00:00		L9: 00:00	
L5: 00:00		L10: 00:00	

Bild 10: System Situation Display (SSD)

Als Nutzlast wird im Folgenden eine Videokamera angenommen, die an einer kardanischen Aufhängung befestigt ist. Diese Bordkamera ist also in der Vertikalen und Horizontalen schwenkbar. Die Schwenkbewegung wird über Tasten auf dem Steuerknüppel (vgl. Bild 7) gesteuert. Das Videobild kann als Sensorsicht auch für die Flugführung eingesetzt werden (Bild 11).

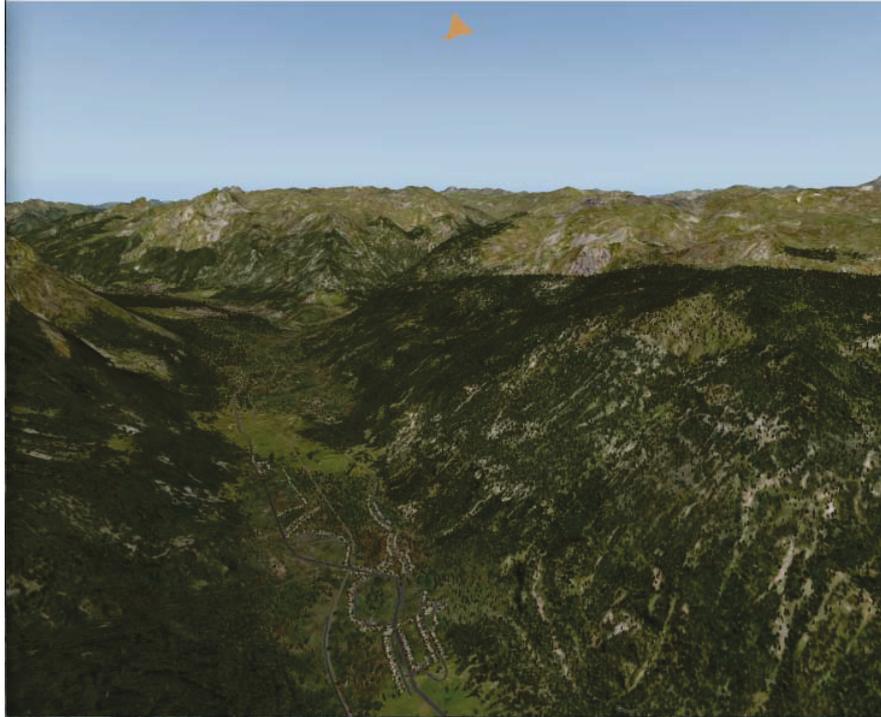


Bild 11: Videobild der Bordkamera

Exemplarisch wurden drei verschiedene Varianten für die Anordnung der vier Anzeigen auf dem Panoramabildschirm entwickelt (Bild 12). Bei Variante 1 nimmt das PSD den meisten Platz ein. Bei Variante 2 beansprucht das SSD die komplette untere Hälfte des Bildschirms. Bei Variante 3 gibt es kein zentrales Anzeigeformat. PSD und SSD sind aus der Mitte nach rechts verschoben. HSD und Sensorsicht sind auf der linken Seite platziert.

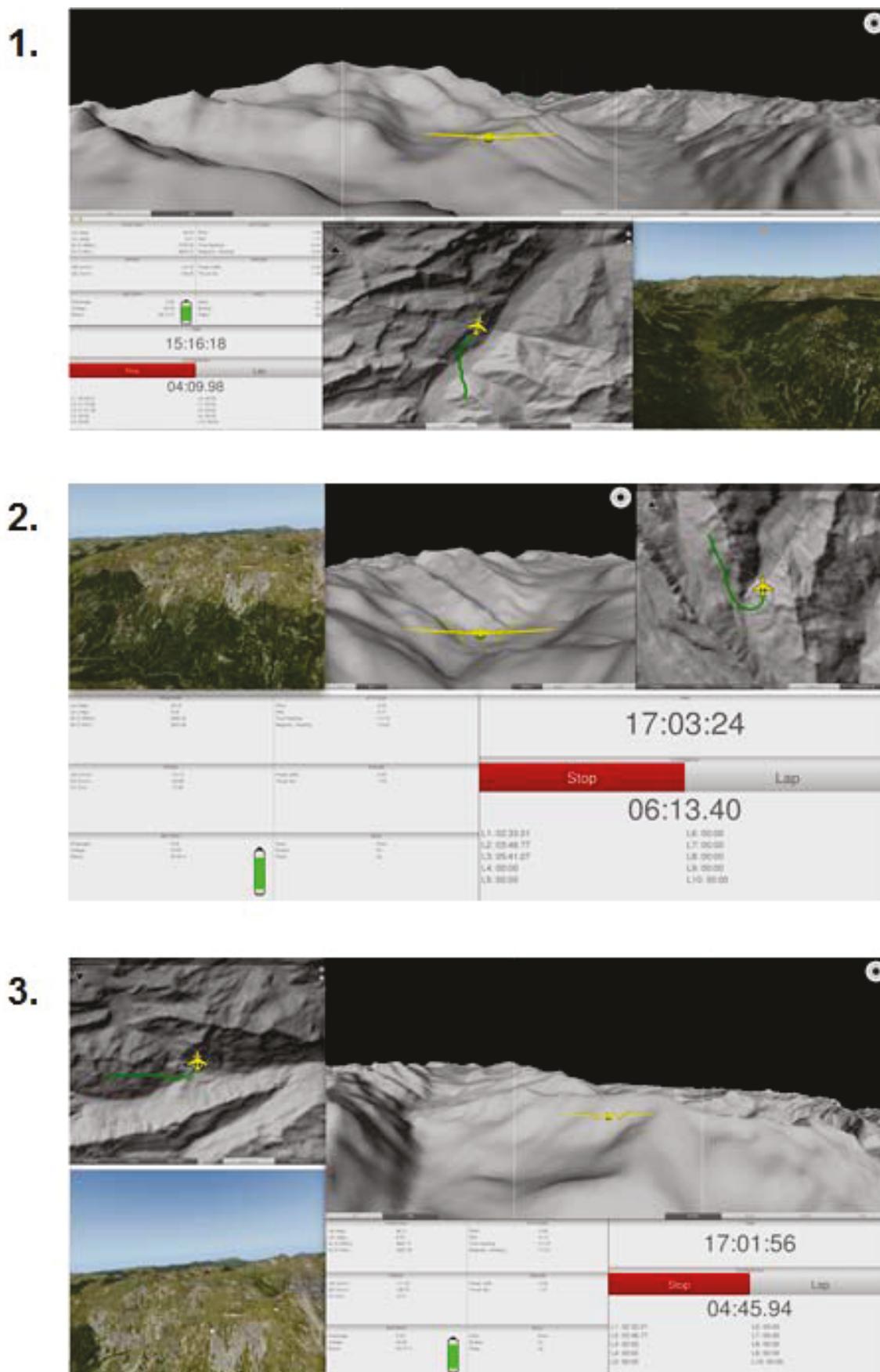


Bild 12: Drei Varianten für die Anordnung der drei Anzeigeformate PSD, HSD, SSD und dem Videobild der Bordkamera

#### 4 Versuchsmethode

In Probandenversuchen soll die Gebrauchstauglichkeit der verschiedenen Varianten systematisch untersucht werden (Gammelin, 2015). Zunächst sollen diese Versuche im Labor durchgeführt werden. Als Flugsimulator kommt X-Plane 10 zum Einsatz (Laminar Research, 2012). Es wurde eine typische Aufklärungsmission definiert, bei der die Probanden verschiedene Flugaufgaben erfüllen müssen (Tabelle 1).

Tab. 1: Aufklärungsmission

Flugphase	Auftrag	Höhen- und Geschwindigkeitsvorgabe	Zu beachten
Flugvorbereitung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wegpunkte einspeichern</li> <li>• Anzeige einstellen</li> </ul>		
Start	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flugplatz Mollis (LSMF): auf RWY 01 starten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IAS: 100 km/h</li> </ul>	
Präzisionsnavigation (ebenes Terrain)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flugstrecke identifizieren, möglichst exakt folgen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 300 ft AGL bei Geländehöhen unter 1500 ft AMSL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• topografische Merkmale</li> <li>• evtl. Gewitterwolke umfliegen</li> </ul>
Terrainfolgeflug (Gebirge)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mittig zwischen Steilhängen fliegen</li> <li>• terrainabhängig Mindestflughöhe anpassen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 500 ft AGL bei Geländehöhen von 1500 bis 3000 ft AMSL /</li> <li>• 700 ft AGL bei Geländehöhen über 3000 ft AMSL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zunehmender Geländeanstieg</li> <li>• evtl. Gewitterwolke umfliegen</li> </ul>
Beobachtungsauftrag	<ul style="list-style-type: none"> <li>• in Richtung 250° Foto-Objekt identifizieren, von vier Seiten fotografieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 150 ft AGL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• evtl. Gewitterwolke umfliegen</li> </ul>
Tiefflug	<ul style="list-style-type: none"> <li>• in Richtung 350° Flugweg über niedrigstmöglichem Gelände wählen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 500 ft AGL bei Geländehöhen von 1500 bis 3000 ft AMSL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• evtl. Gewitterwolke umfliegen</li> </ul>
Rückflug	<ul style="list-style-type: none"> <li>• in Richtung 090° Flugplatz erreichen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 300 ft AGL bei Geländehöhen unter 1500 ft AMSL /</li> <li>• 500 ft AGL bei Geländehöhen von 1500 bis 3000 ft AMSL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• plötzlicher Geländeanstieg</li> <li>• evtl. Gewitterwolke umfliegen</li> </ul>
Landung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flugplatz Schänis (LSZX): auf RWY 34 landen</li> </ul>		

Um die Effektivität, die Effizienz und die Akzeptanz der verschiedenen Anzeigevarianten zu bestimmen, werden folgenden Messmethoden eingesetzt:

- Flugwegaufzeichnung
- Aufzeichnung der vom Probanden vorgenommenen Einstellungen
- Messung von Kopf und Augenbewegungen
- Fragebogen

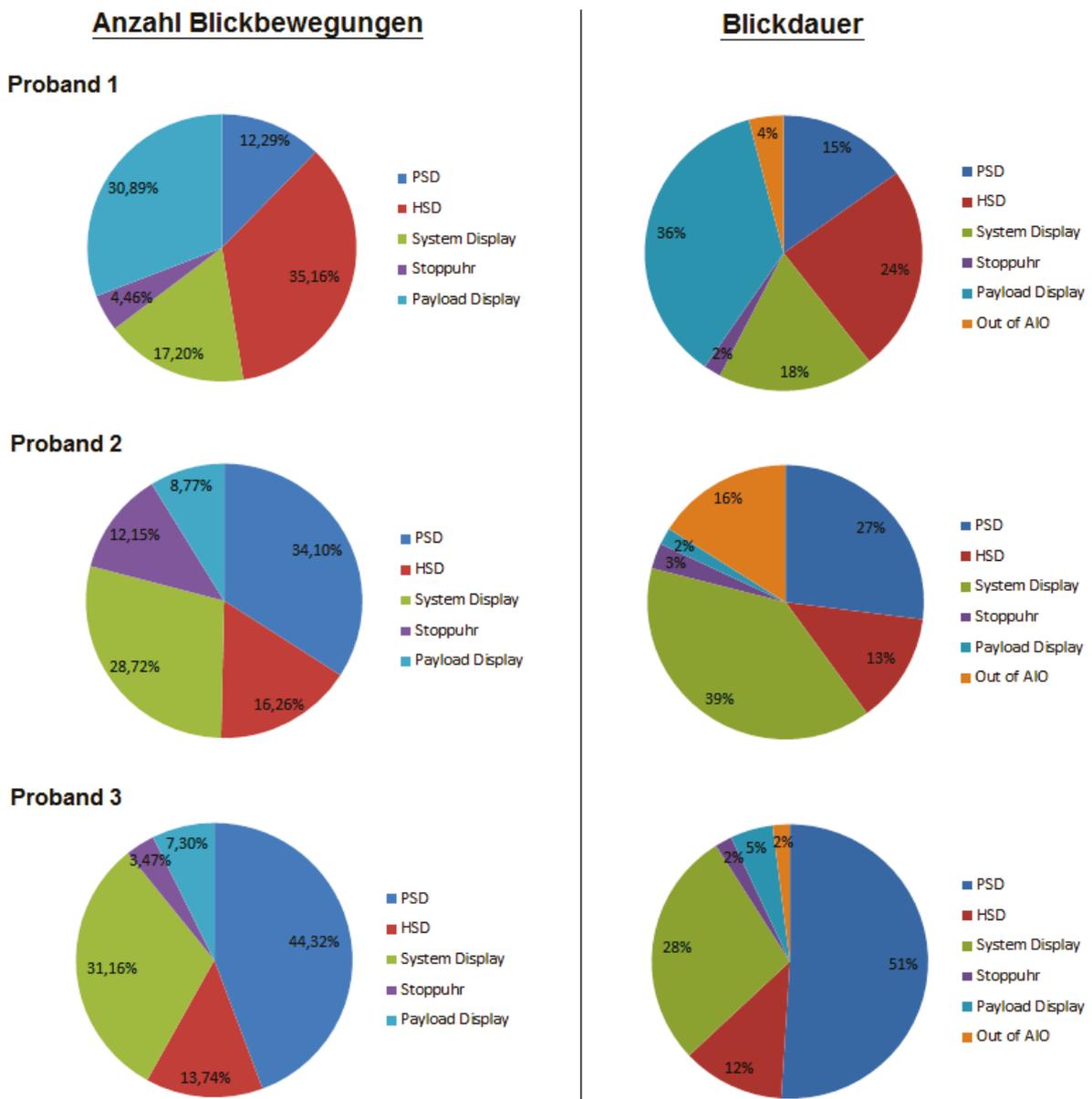


Bild 13: Prozentuale Aufteilung der Blickbewegungen und der Blickdauer auf die einzelnen Anzeigebereiche

Für die Messung der Augen- und Kopfbewegung kommt ein kombiniertes *Eye- and Head-Tracking System* zum Einsatz. Die Augenbewegung wird mit den „Eye Tracking Glasses“ von Sensomotoric Instruments (SMI) gemessen, die Kopfbewegung mit dem optischen System „Trackpack“ der Firma Advanced Realtime Tracking (ART). Am Zentrum für Aviatik wurden beide Systeme zu einem

einzigem Augenverfolgungssystem kombiniert (Bockhahn, 2015). Das kombinierte System wertet die gemessenen Kopf- und Augenbewegungen gemeinsam aus und liefert so die raumbezogene Blickrichtung des Probanden.

## 5 Validierung

Die Versuchsmethode wurde mit drei Probanden validiert. Jeder Proband flog eine Übungsmission um sich mit dem Versuchsaufbau vertraut zu machen. Dann gab es pro Proband einen Versuchsdurchgang bei dem gemessen wurde. Das heisst jeder Proband flog nur mit einer Anzeigevariante, Proband 1 mit Variante 1, Proband 2 mit Variante 2 und Proband 3 mit Variante 3. In Bild 13 sind exemplarisch die Anzahl Blickbewegungen und die Blickdauer bezogenen auf die einzelnen Anzeigebereiche dargestellt.

## 6 Ausblick

Um die Bedien- und Anzeigekonzepte der Remote Pilot Station eingehend auf ihre Gebrauchstauglichkeit zu untersuchen, soll auf Grundlage der entwickelten Versuchsmethode eine Versuchsreihe mit mehreren Probanden durchgeführt werden, bei der jeder Proband alle drei Anzeigevarianten fliegt. So können die drei Varianten verglichen werden.

Vor einer solchen Messkampagne sollen das PSD und das HSD mit konventionellen Skalen und alphanumerischen Anzeige ergänzt werden, wie man Sie vom Primary Flight Display und vom Navigation Display aus der bemannten Luftfahrt kennt. Dazu gehören zum Beispiel die Anzeige der Fluggeschwindigkeit und Flughöhe durch entsprechenden Skalen im PSD oder etwa eine Kompassrose im HSD.

## Literatur

- Bockhahn, T. (2015). *Inbetriebnahme und Evaluation eines 6DoF Augenverfolgungssystems*. Vertiefungsarbeit an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, 31. Juli 2015.
- EASA (2015). *Notice of Proposed Amendment (A-NPA) 2015-10 Introduction of a regulatory framework for the operation of drones*. European Aviation Safety Agency, 31.07.2015. <http://www.easa.europa.eu/document-library/notices-of-proposed-amendment/npa-2015-10>
- Endsley, M.R. (1997). Situation Awareness: The Future of Aviation Systems. In *Saab 60th Anniverary Symposium*, Linköping, 08.09.97.
- ERSG (2013). *Roadmap for the integration of civil Remotely-Piloted Aircraft Systems into the European Aviation System*. Final Report from the European RPAS Steering Group, June 2013.
- Gammelin, J. (2015). *Unbemannte Luftfahrzeuge: Evaluation von Bedien- und Anzeigekonzepten für eine Remote Pilot Station*. Bachelorarbeit an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, 5. Juni 2015.
- Jones, D.G. & Endsley, M.R. (1996). Sources of situation awareness errors in aviation. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 67(6), 507–512.
- Laminar Research (2012). *X-Plane 10 Manual*. Columbia, January 23, 2012.

Lenhart, P.M.(2012). Ein Head-Mounted Display mit synthetischer Sicht. In M. Grandt & S. Schmerwitz (Hrsg.), *Fortschrittliche Anzeigesysteme für die Fahrzeug- und Prozessführung* (DGLR-Bericht 2012-01, S. 49-60). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V..

Warwick, G. (2012). Avionics Giants Pursue Synthetic Vision For Credit. *Aviation Week & Space Technology*, 14 May 2012, 48-50. [http://www.aviationweek.com/Article.aspx?id=/article-xml/AW\\_05\\_14\\_2012\\_p48-456231.xml](http://www.aviationweek.com/Article.aspx?id=/article-xml/AW_05_14_2012_p48-456231.xml)

### **Autoren**

Dr.-Ing. P.M. Lenhart                      Zürcher Hochschule für Angewandte  
Wissenschaften (ZHAW)  
Zentrum für Aviatik  
Schweiz

Lt. J. Gammelin, B.Sc.                      Deutsche Luftwaffe

Kontakt: [peter.lenhart@zhaw.ch](mailto:peter.lenhart@zhaw.ch)

