

# EINSATZ VON VIRTUAL-REALITY BEI DER UNTERSUCHUNG VON FLUGUNFÄLLEN UND FLUGZWISCHENFÄLLEN

M. Bauer,  
EADS - Eurocopter Deutschland GmbH, Willy-Messerschmitt-Str., 85521 Ottobrunn,  
Deutschland

## Zusammenfassung

Der Einsatz der Virtual-Reality (VR) Technologie zeigt wie schon in anderen Fachgebieten auch im Bereich der Flugunfalluntersuchung neue Ansätze für die Analyse und Visualisierung. EADS Military-Air-Systems unterstützte die Deutsche Luftwaffe bei der Auswertung von Flugrekorder Daten mit Hilfe der VR Technologie. Die Analyse der Pilotenperspektive mit VR konnte dabei entscheidend zur Klärung der Unfallursache beitragen. Das Einsatzgebiet von VR zeigt auch im Bereich der Zeugenauswertung neue Möglichkeiten, was aktuell im Rahmen einer weiteren Untersuchung in Zusammenarbeit mit der Deutschen Luftwaffe untersucht wird.

## 1. EINLEITUNG

Im Bereich der Luftfahrt spielt die Flugsicherheit eine entscheidende Rolle. Um dies zu gewährleisten, überprüfen die jeweils verantwortlichen Behörden auf internationaler und nationaler Ebene schwere Störungen und Flugunfälle in der Luftfahrt. Unter schwere Störungen zählen unter anderem Beinahezusammenstöße oder Vorfälle, bei denen Menschen auf Grund der Störung verletzt oder getötet wurden [1]. Bei der Analyse von Störungen oder Unfällen spielen neben der Beweisaufnahme und Zeugenaussagen, auch die Auswertung des Flugdatenrekorders (FDR) eine entscheidende Rolle. Der FDR wurde in den 60er Jahren eingeführt und zeichnet während des Flugs neben der Position und Fluglage des Luftfahrzeuges auch wichtige Systemparameter auf. Im Laufe der Zeit wurde der FDR stetig weiterentwickelt und die Qualität und Quantität der Daten wurden entscheidend verbessert.

Neben der Unfallursache muss der Untersucher ebenfalls die Vermeidbarkeit des Unfalls überprüfen und nach Möglichkeit eine Empfehlung zur zukünftigen Unfallvermeidung aussprechen. Da der Großteil aller Unfallfaktoren durch den Menschen bestimmt sind [2], gelangt die Möglichkeit auf menschliches Versagen seit etwa 15 Jahren immer mehr in den Fokus der Untersuchungen. Bei der Analyse können neben möglichen Fehlhandlungen im Cockpit auch die Mensch-Maschine Schnittstelle untersucht werden.

## 2. ANWENDUNGEN ZUR ANALYSE UND ZUR VISUALISIERUNG DES FLUGVERLAUFS

Zur Auswertung der FDR Daten stehen heute einige Computer-Anwendungen zur Verfügung. Mit Hilfe dieser Anwendungen kann der Untersucher den Flugverlauf mit den zugehörigen Systemparametern in 3D und in Form von Diagrammen begutachten und analysieren. Aktuell gehören die Programme „InSight“ und „RAPS“ (Bild 1 und 2) zu den am häufigsten verwendeten und verkauften Anwendungen weltweit. Auf Grund der rasanten

Computerentwicklung und der Verfügbarkeit von einfachen Render-Engines, gibt es inzwischen aber auch eine Vielzahl weiterer Anwendungen für die FDR Visualisierung. Die meisten Anwendungen verfügen über eine standardisierte Schnittstelle, um FDR Daten einlesen zu können. Durch den Einsatz von synthetischer Symbologie, können Flugverläufe, Fluglagen und weitere Informationen in die 3D Visualisierung implementiert und hervorgehoben werden.

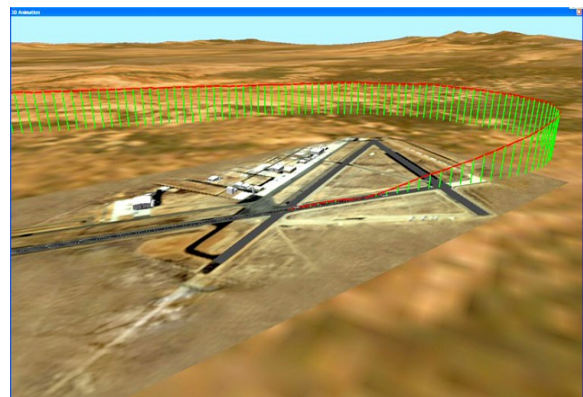


BILD 1. Darstellung eines Flugverlaufs, CEFA [3]



BILD 2. Screenshot der Anwendung „RAPS“ [4]

In Bild 1 ist der Flugverlauf eines Abflugs dargestellt. Der Flugverlauf ist mit einer roten Linie dargestellt. Die grünen Höhenlinien verdeutlichen neben der Flughöhe auch den Flugverlauf über Grund. In Bild 2 ist ein Luftfahrzeug aus externer Perspektive zu sehen. Der Verlauf der Fluglage wird über eine rote Linie am linken und eine grüne Linie am rechten Flügelende verdeutlicht. Die überlagerten Cockpitinstrumente stellen im Zusammenhang die für den Piloten sichtbaren Cockpitanzeigen und Parameter dar. Systemparameter können über implementierte Funktion in Form von Tabellen analysiert werden. Mit Hilfe dieser Anwendungen kann sich der Unfalluntersucher zeitnah einen Überblick über den Unfallverlauf und die aufgezeichneten Systemparameter machen. Eine Analyse aus Cockpitperspektive bieten diese Programme bislang nur mit einer überlagerten Cockpitfläche wie in Bild 2 zu sehen, auf der die Cockpitinstrumente mit den aktuellen Systemparametern abgebildet sind. Ein 3D Cockpit mit original Abmassen, sowie der Aussenstruktur des Luftfahrzeuges stehen bislang nicht zur Verfügung.

### 3. UNFALLUNTERSUCHUNG MIT VR

VR ist mehr als ein Medium, dass Informationen in einer 3D Umgebung visualisieren kann. Mit Hilfe eines Helmed-Mounted-Displays (HMD), welches der Benutzer zur Visualisierung trägt, erscheint ihm die 3D-Welt plastisch und zum Greifen nah. Durch die Möglichkeit, dass sich der Beobachter über seine natürliche Kopfbewegung im virtuellen Raum umsehen kann, wird er Teil der virtuellen Welt und taucht in das Geschehen ein. Dies wird im Umfeld der VR Technologie als Immersion bezeichnet. Interaktionen mit virtuellen Objekten sind ebenfalls Bestandteil der heutigen Entwicklung im Bereich der VR Technologie.



BILD 3. Analyse eines Autounfalls in 3D / VR [5]

Der Einsatz zur Visualisierung von Unfallgeschehen mit VR findet bereits im Strassenverkehr Anwendung. Bild 3 zeigt, wie beispielsweise ein Autounfall mit Hilfe der ermittelten Unfalldaten in VR dargestellt und analysiert werden kann. Die Einbindung von Zeugenhinweisen ermöglicht die Klärung des Unfallverlaufs, da eine Analyse aus mehreren Perspektiven animiert werden kann.

Im Bereich der Luftfahrt wurde bereits in den 90er Jahren das Medium VR zum ersten mal zur Analyse von Flugunfällen eingesetzt. Die Grafik war auf Grund der geringen Computerleistung noch sehr einfach gehalten und die 3D Software kam auf einem Pentium 90MHz mit 32 MB Arbeitsspeicher zum Einsatz. Mit dieser Software konnte man bereits aus externer Sicht und aus Cockpitperspektive FDR Daten analysieren.

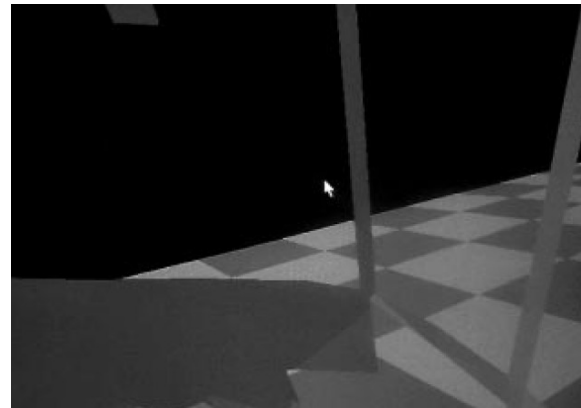


BILD 4. VR Anwendung zur Flugunfallanalyse aus der Cockpitperspektive, 90er Jahre [5]

Im speziellen Fall zeigt Bild 4 die Pilotenperspektive aus dem Cockpit eines Hubschraubers. Mit Hilfe dieses Programms wurde in den 90er Jahren ein Hubschrauberabsturz eines Super Pumas (März 1992), sowie ein Zusammenstoß zweier Royal Air Force Tornados (Juni 1993) von den zuständigen Behörden analysiert [6].



BILD 5. VR Anwendung aus der Cockpitperspektive eines Tornados, 2006 [7]

Zehn Jahre später nutzte die Deutsche Luftwaffe für die Auswertung eines Zusammenstoßes zweier Tornados, erstmals die VR Technologie von EADS-MAS zur Visualisierung der Pilotenperspektive [7]. Dieser Unfall gab den zuständigen Flugunfalluntersuchern die Frage zu klären, ob und bis wann die Piloten beider Maschinen das andere Luftfahrzeug unter den herrschenden Wetterbedingungen sehen konnten und wie der Verlauf des Unfallgeschehens aus den Pilotenperspektiven beider Besatzungen verlief. Die Fragestellung ging über den Sichtbereich einer Cockpitzeile, wie sie im Flugsimulator vorhanden ist hinaus. Es galt daher zu klären, ob es im entscheidenden Moment eine visuelle Abdeckung des anderen Luftfahrzeuges durch die äußere Flugzeugstruktur, wie zum Beispiel dem Rumpf gegeben hatte. Zudem stellte sich die Frage, an welchem Zeitpunkt in dem hoch dynamischen Flugverlauf eine stehende Peilung eingetreten war und ab wann die Kollision aus der Pilotenperspektive zwingend erkennbar war. Dabei war

die natürliche Kopfbewegungsfreiheit der Piloten entsprechend zu berücksichtigen.

Die Auswertung und Analyse eines solchen Flugunfalls aus der Pilotenperspektive würde mit Hilfe eines Flugsimulators nicht die äußere Luftfahrzeugstruktur einbeziehen. Der zusätzliche Wunsch, Videos aus der Pilotenperspektive für die Unfalldokumentation zu erstellen, wäre im Flugsimulator auf Grund der Bildprojektion und der räumlichen Einschränkung im Cockpit sehr aufwendig und schwierig. Mit VR kann der Beobachter mit Hilfe des HMD die gesamte Struktur des Luftfahrzeuges und seiner Umgebung virtuell wahrnehmen. Auf Grund der rasanten Entwicklung in der IT Branche können heute detailliertere 3D Modelle aus der Konstruktion in einem realistischerem Umfeld mit Hilfe von Texturen in Echtzeit dargestellt werden. Bild 5 zeigt die Cockpitperspektive aus einem Tornado Cockpit der heutigen VR Anwendung von EADS-MAS. Der Einsatz von Fototexturen und einem aufwendigen 3D Modell des Cockpits ermöglichen eine fotorealistische Darstellung. Die Möglichkeit das Unfallgeschehen aus der Pilotenperspektive in einem nahezu realistischen Umfeld analysieren zu können, ermöglichte für die Unfalluntersucher neue Ansätze und trug in diesem konkreten Unfall entscheidend zur Aufklärung der Unfallursache bei [8]. Der abschließende Bericht der Luftwaffe verwies zur Unfallvermeidung auf speziell mit VR erzeugte Videos, die den Verlauf in Echtzeit aus der virtuellen Pilotenperspektive zeigen. Durch den Einsatz von VR ergaben sich im Bereich der Flugunfalluntersuchung neue Möglichkeiten zur Visualisierung und Dokumentation der Pilotenperspektive. Die Luftwaffe setzte diese Technologie und die Anwendung von EADS-MAS bei folgenden notwendigen Unfallanalysen erneut erfolgreich ein.

#### 4. ANALYSE VON ZEUGENAUSSAGEN MIT VR

Bei der Unfallanalyse stehen den Behörden neben den Wrackteilen und dem FDR meist Augenzeugen zur Verfügung. Letztere können einen Flugabschnitt in Bodennähe beschreiben. Wenn zur Auswertung des Unfalls keine FDR Daten zur Verfügung stehen, gestaltet sich eine Rekonstruktion und Visualisierung des Flugverlaufs als sehr aufwendig und teilweise als unmöglich. Oft kann in Zentraleuropa auf Grund der guten Abdeckung der Radarabdeckung ein Flugpfad mit der Fluggeschwindigkeit über Grund rekonstruiert und interpoliert werden. Das Ergebnis hängt von der Genauigkeit der Radar Daten und der Anzahl der zur Verfügung stehenden Radar Station ab. In Gebieten ausserhalb Zentraleuropas, liegt häufig keine flächendeckende Radarabdeckung vor, was die Rekonstruktion mit Hilfe von Radardaten ausschließt. Zudem kann es generell in Bodennähe zu Unregelmäßigkeiten der Radardaten auf Grund von Bodenreflexionen kommen [8]. Für die Ergänzung können hierbei zusätzlich Zeugenaussagen zum Einsatz kommen. Zunächst müssen diese auf ihre Glaubwürdigkeit und in Abhängigkeit zu anderen Zeugenaussagen bewertet werden. Bei den heutigen Anwendungen „RAPS“ und „Insight“ besteht die Möglichkeit, die Kameraposition auf einer definierten Stelle am Boden in der 3D Anwendung zu positionieren. Die Beschreibung der Beobachtung gestaltet sich jedoch für den Zeugen schwierig, da er vor dem Computerbildschirm sitzend, aus der Perspektive

seines Zeugenstandorts in der 3D Anwendung nur wenig Referenzobjekte findet. Zudem wirkt die Bodentextur auf Grund der parallelen Sichtachse unscharf und der Zeuge steuert die virtuelle Kopfbewegung unnatürlich über die Maus. Die Analyse mehrerer Zeugenangaben im Zusammenhang gestaltet sich hier als sehr zeitaufwendig und anspruchsvoll [8].

Mitte der 90er Jahre stand der Deutschen Luftwaffe bei der Auswertung eines Hubschrauberunfalls keine FDR Daten zur Verfügung. Die Radardaten waren bis ca. 50 Sekunden vor dem Absturz sehr gut und verwertbar. In Bodennähe wiesen diese jedoch wie befürchtet starke Positionssprünge auf, die den Unfalluntersuchern als unglaublich erschienen. Um den Unfall lückenlos aufzuklären, galt es die letzten Sekunden des hochdynamischen Flugverlaufs, welcher in sehr geringer Höhe über dem Boden stattfand, auf Grundlage von Zeugenaussagen zu rekonstruieren. Die Auswertung stellte die Unfalluntersucher vor eine große Herausforderung. Die Zeugen beschrieben den Untersuchern einen Kurvenflug mit starker Rolllage. Zur Auswertung der Sichtlinien der unterschiedlichen Zeugen in Referenz zur Geographie, kam ein 3D Programm zum Einsatz, welches eigentlich zur Landesvermessung genutzt wurde. Von den Zeugenstandorten wurden Fotos in Richtung der Beobachtung mit einer Sofortbildkamera erstellt, in die jeder Zeuge den Flugverlauf als Linie einzeichnete. Die Zeugenbefragung erfolgte vor Ort an der Beobachtungsposition des Zeugen bei vergleichbaren Wetterbedingungen und Sonnenstand. Diese Informationen wurde verwendet, um auf Grundlage einiger Sichtlinien in Verbindung mit Objekten den Kurvenradius des Hubschraubers in Latitude und Longitude einzugrenzen. Die maximale Leistungsfähigkeit des Hubschraubers im Kurvenflug wurde entsprechend berücksichtigt. Als Ergebnis wurde eine Annäherung an den anzunehmenden letzten Flugabschnitt erarbeitet. Bei der Rekonstruktion konnte die Anwendung nur Zeugenaussagen berücksichtigen, die den Hubschrauber in Überdeckung mit einem Referenzobjekt beobachteten. Zeugenbeobachtungen die den Hubschrauber oberhalb eines Referenzobjektes im Himmel beobachteten, sowie Fehlerquellen und Aussageungenauigkeiten konnten nicht in der Rekonstruktion einbezogen werden. Dieser angenäherte Flugverlauf wurde anschließend durch einen realen Hubschrauberflug anteilig nachgefliegen und durch die einbezogenen Zeugen verifiziert. Die Auswertung der Zeugenbeschreibungen in Verbindung mit dem Foto und der 3D Karte vom Unfallort, gestaltete sich für die Unfalluntersucher als sehr zeitaufwendig. Zusätzliche Kosten entstanden durch den abschließenden realen Flug für die Verifizierung der Zeugenaussagen und des berechneten Flugverlaufs.

Auf Grund der genannten Problematik wurde im Rahmen einer Doktorarbeit eine neue Methodik mit der VR Anwendung „Cyberlyzer“ entwickelt. Mit dieser sollen Zeugenbeschreibungen verifiziert und ein Flugverlauf auf Grundlage der Aussagen rekonstruiert werden. In Kooperation mit der Deutschen Luftwaffe wurde die Methode in 2008 untersucht und ein Praxistest erfolgreich durchgeführt.

Bild 6 und 7 zeigen zwei Screenshots der entwickelten Windows Anwendung „Cyberlyzer“.





BILD 6. Darstellung der externen Zeugenperspektive [9]



BILD 7. Darstellung der Pilotenperspektive [9]

Die Analyse der Situation kann aus mehreren Perspektiven analysiert werden und ermöglicht die Animation in Echtzeit aus Pilotenperspektive und aus Zeugenperspektive. Zudem können Zeugenaussagen in die virtuelle Umgebung überführt und ausgewertet werden. Die Rekonstruktion eines Flugverlaufs kann auf Grundlage der Zeugenbeschreibungen unter Berücksichtigung der Fehlerquellen und Aussagegenauigkeit des Zeugen berechnet werden. Das Ergebnis kann in andere Anwendungen zur weiteren Bearbeitung importiert werden. Weitere Informationen über den Inhalt der Methode können aktuell noch nicht beschrieben werden, da die Arbeit noch nicht abgeschlossen ist. Es zeigt sich jedoch schon vorab, dass VR in einem weiteren Bereich der Luftfahrt, Potential zur Auswertung von Zeugenaussagen besitzt. Sollte sich die Methode zur Rekonstruktion von Flugverläufen ausschließlich auf Grundlage von Zeugenaussagen bewähren, könnte die Unfalluntersuchung mit Luftfahrzeugen, die keinen FDR besitzen mit einem rekonstruierten Flugverlauf zeitnah und kostengünstig unterstützt werden. Dies würde erste wichtige Aufschlüsse über die Flughöhe, ggf. den Kurvenflug und die Sinkrate des Luftfahrzeuges geben.

## 5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Virtual-Reality Technologie konnte bereits zur Visualisierung von Flugverläufen erfolgreich eingesetzt werden [8]. Dafür war die Möglichkeit den Flugverlauf aus

Pilotenperspektive analysieren zu können, für die Unfalluntersucher sehr hilfreich. Die Erstellung von Videos ermöglichte der Luftwaffe Anschauungsmaterial für die Unfallprevention zu erzeugen. Die Analyse und Visualisierung der Pilotenperspektive mit Hilfe von VR hat dadurch bei Unfalluntersuchungen, bei denen die Situation des Piloten untersucht werden soll, eine neue Dimension erhalten. Auf Grundlage der FDR Daten und der Cockpitgemotrie kann im virtuellen Medium die Situation zeitnah und in Echtzeit rekonstruiert werden. In Folge dessen wurde die Einsatzmöglichkeit zur Analyse von Zeugenaussagen mit VR weiter untersucht. Eine neue Methode erlaubt die Analyse von mehreren Zeugenaussagen im Zusammenhang und die Rekonstruktion von Flugverläufen. Für die neue Methode zeigten die zuständigen Behörden bereits großes Interesse. Zukünftig könnten lückenhafte FDR Daten mit Hilfe der neuen Methode auf Grundlage von Zeugenaussagen auf einfache und kostengünstige Weise vervollständigt werden.

Der Einsatz der VR Technologie zur Auswertung von Daten und Abläufen wird in Zukunft auch in weiteren Bereichen mit sehr großer Wahrscheinlichkeit erfolgreich eingesetzt werden.

## 6. DANKSAGUNG

Ich möchte mich in aller Form bei folgenden Partnern für die großartige Unterstützung bedanken:

- General Flugsicherheit in der Bundeswehr
- EADS – Military- Air-Systems
- EADS - Eurocopter Deutschland GmbH

## 7. REFERENZEN

- [1] BGB1. I S. 2470, Gesetz über die Untersuchung von Unfällen und Störungen bei dem Betrieb ziviler Luftfahrzeuge, 1998
- [2] Christian-Heinz Schuberdt, Handbuch zur Flugunfalluntersuchung, 2005, Springer-Verlag
- [3] CEFA Aviation, Anwendung zur FDR Animation, 2007, <http://www.cefa-aviation.com>
- [4] Flightscape, Anwendung Insight zur FDR Animation, 2007, <http://www.flightscape.com>
- [5] Chris Johnson, Workshop on the Investigating and Reporting of Incidents and Accidents (IRIA 2002), 2002, University of Glasgow, Scotland
- [6] Anne Evans, The Air Accident Investigation Tool — Impact Tool and FDR Visualiser, 1996, Air Accidents Investigation Branch
- [7] Dr.-Ing. Jost Seifert und Marcus Bauer, Einsatz der VR-Technologie zur Flugunfalluntersuchung bei General Flugsicherheit in der Bundeswehr, 2004 bis 2006, EADS – Military Air Systems
- [8] General Flugsicherheit in der Bundeswehr, Erfahrungsberichte aus der Flugunfalluntersuchung, 2008
- [9] Marcus Bauer, Windows Anwendung „Cyberlyzer“ zur FDR Animation, 2007-2008