

# VIRTUAL REALITY – EIN JAHRZEHT INDUSTRIELLER ERFAHRUNG

L. Vogelmeier, H. Neujahr, D. Wittmann, Dr. P. Sandl  
Cassidian, 85077 Manching, Germany

## Zusammenfassung

Auf der Basis des Prinzips der Virtual Reality, welche die Immersion eines Benutzers in eine computergenerierte Welt erlaubt, formulierte die Abteilung Human Factors Engineering von Cassidian ein Konzept, das die gleichzeitige Darstellung eines Übersichts- und eines Detaildisplays zum Inhalt hatte. Über die Realisierung mehrerer Demonstratoren, die jeweils für die Untersuchung bestimmter Aspekte der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle benutzt wurden, führte die Entwicklung schließlich zu einem Arbeitsplatzprototyp, in dem alle wesentlichen Elemente des Konzepts enthalten sind. Damit können nun konkrete, operative Aufgabenstellungen bearbeitet und die Interaktion des Nutzers bewertet werden. Der Artikel beschreibt das zugrundeliegende Konzept und zeigt die historische Entwicklung auf, die zum Prototypen führte.

## 1. MOTIVATION

Mitte der 90er Jahre begann sich die Abteilung Human Factors Engineering der damaligen DASA mit der aufkommenden Virtual Reality (VR) Technologie zu beschäftigen. Ziel von VR ist es, einen Benutzer derart in eine computergenerierte Umgebung einzubinden, dass er diese Umgebung als real wahrnimmt. Diese mentale Integration in eine künstliche erzeugte Umgebung wird auch als Immersion bezeichnet [1]. Dazu benützt VR unterschiedliche Techniken. Besonders zu erwähnen sind die stereoskopische Visualisierung zur Erzeugung eines echt wirkenden räumlichen Eindrucks, sowie Methoden zur Bewegungsverfolgung (Tracking) mit denen die Aktionen des Benutzers in die computergenerierte, virtuelle Umgebung übertragen werden.

Unsere anfängliche Motivation für den Einsatz von VR war es, Piloten und Bedienern von Missionsarbeitsplätzen die Möglichkeit zu geben, mit computergenerierten Prototypen ihrer Mensch-Maschine-Schnittstellen (Human Machine Interface - HMI), also Cockpits und Arbeitsplatzkonsolen, in fast der gleichen Art und Weise zu interagieren, wie mit herkömmlichen, realen Aufbauten. Unsere Vorstellungen hierzu haben wir auf dem DGLR Kongress 2000 präsentiert [2]. Seitdem konnten wir VR als wertvolles **Werkzeug** im Entwicklungsprozess von HMIs etablieren. Einige Beispiele dazu sind in [3] beschrieben.

Das Prinzip der Immersion birgt nach unserer Auffassung jedoch noch weiteres Potential. Durch die völlige Einbindung eines Benutzers in eine computergenerierte Umgebung erscheint es - zumindest in der Theorie - möglich, einen auf den Prinzipien von VR basierten, operationellen **Arbeitsplatz** zu schaffen, der auf den Menschen und seine Aufgaben optimal abgestimmt ist.

Da sich die Luftfahrt naturgemäß im dreidimensionalen Raum abspielt, könnte eine geeignete dreidimensionale Visualisierung die Arbeit eines UAV-Operators (UAV - Unmanned Aerial Vehicle), eines Fluglotsen oder eines taktischen Operators an Bord eines Überwachungsflugzeugs durchaus vereinfachen. Die Verwirklichung dieser Idee konnte nur schrittweise erfolgen. Zu Anfang war weder die notwendige Technologie vorhanden noch gab

es konzeptionelle Ansätze. Der vorliegende Artikel dokumentiert unseren Weg hin zu einem VR-Arbeitsplatz anhand verschiedener Demonstratoren, die jeweils bestimmte Aspekte der Interaktion in einer VR-Umgebung beleuchten sollten. Doch die Idee, die allen Demonstratoren zu Grunde lag, war die gleichzeitige Darstellung von Überblick und Detail. Das zugehörige Konzept wird im nächsten Abschnitt beschrieben. Das darauffolgende Kapitel präsentiert die Historie von den Anfängen der Demonstratoren bis hin zum aktuellen Arbeitsplatzprototypen.

## 2. KONZEPT

Speziell in der Luftfahrt gibt es Szenarien, die nur mit einem globalen Blick auf die Gesamtsituation und gleichzeitig einem detaillierten Blick auf bestimmte Teilaspekte angemessen beurteilt werden können. Ein Fluglotse, der einen Konflikt zwischen zwei Luftfahrzeugen zu lösen hat, muss die beiden Flugzeugtrajektorien im Detail analysieren, aber auch die weitere Umgebung in seine Lösungsfindung mit aufnehmen, um zu vermeiden, dass durch die Lösung des aktuellen Konfliktes ein neuer Konflikt entsteht.

Das Konzept zur **gleichzeitigen Darstellung von Überblick und Detail** basiert auf zwei virtuellen Displays, dem *Übersichtsdisplay* und dem *Arbeitsdisplay*.

Aufgabe des *Übersichtsdisplays* ist die Darstellung der lateralen Komponente des Gesamtzenarios auf einer zweidimensionalen Karte. Es ermöglicht eine schnelle Auswahl von Teilbereichen (Area of Interest - AOI), die mit Hilfe des Arbeitsdisplays einer detaillierten Betrachtung unterzogen werden können. In unserer ursprünglichen Vorstellung hatte das Übersichtsdisplay die Form einer Halbkugel, die den Benutzer in der VR-Umgebung umgibt. Die Halbkugel wurde gewählt, um bei Drehung des Kopfes immer einen annähernd senkrechten Blick auf das Display zu gewährleisten.

Aufgabe des *Arbeitsdisplays* wiederum ist die Darstellung der räumlichen Struktur der Luftraumsituation. Da sich unsere Anwendungen immer im dreidimensionalen Raum abspielen, wird es als dreidimensionales Display ausgeführt. Es zeigt also eine räumliche Miniatur der Situation

auf einer dreidimensionalen Karte, die mit abstrakten Informationen und Metaphern angereichert wird.

Die Lage und Größe der auf dem Arbeitsdisplay gezeigten AOI ist im Übersichtsdisplay sichtbar. Sie wird bei Veränderung angepasst. Die AOI kann entweder über das Übersichtsdisplay kontrolliert werden, indem dort eine Fläche definiert wird, oder über das Arbeitsdisplay, wo der Ausschnitt verschoben, gedreht oder in der Größe verändert werden kann. Die beiden Displays sind bezüglich der dargestellten Informationen synchronisiert, können aber individuell konfiguriert werden.



BILD 1 Konzept zur gleichzeitigen Darstellung von Überblick und Detail; hier: Kartenkugel aus einer exozentrischen Perspektive

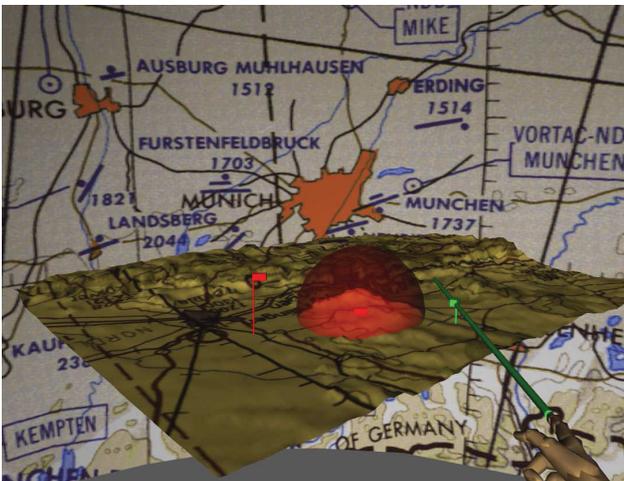


BILD 2 Konzept zur gleichzeitigen Darstellung von Überblick und Detail; hier Kartenkugel aus der Sicht des Benutzers

Außerdem kann die Anzeige weiterer Displays sinnvoll sein, die in unserer Halbkugelvorstellung als frei positionierbare Flächen, beispielsweise zur Darstellung von Sensorbildern, ausgeführt werden. Die Eingabe von Informationen ins System geschieht über virtuelle Bedienflächen, die ebenso frei positionierbar sind. Die Kontrolle der virtuellen Displays und die Interaktion mit den visualisierten Daten und den Bedienflächen sollte möglichst

direkt mit den Händen erfolgen, z.B. durch Greifen und Berühren.

Das Konzept wurde unabhängig von einer eventuellen technischen Umsetzung formuliert. Einschränkungen durch die jeweils verfügbare (Display-)Technologie sollten den Kern des Konzepts nicht beeinträchtigen. BILD 1 zeigt das Konzept aus exozentrischer Perspektive. Die Darstellung entstand ca. drei Jahre nach der Formulierung des Konzeptes. Vorher fehlten uns die technischen Mittel für die Umsetzung. Die Darstellung wurde für ein sogenanntes CAVE Visualisierungssystem [4] entwickelt, welches genauer in Kap. 3.3 beschrieben ist. Die CAVE erlaubt es auch, das Konzept aus der Sicht des Benutzers selbst (siehe BILD 2) zu demonstrieren.

### 3. DEMONSTRATOREN

Zur Erprobung des Konzepts und zur weiteren Verfeinerung der Funktionalität wurden mehrere Demonstratoren aufgebaut, die jeweils zur Bearbeitung spezieller Fragestellungen dienten.

Für jeden Demonstrator wurden konkrete Ziele definiert und eine Aufgabenstellung formuliert, die den jeweiligen Rahmen für den Demonstrator bildete. Spezielles Augenmerk wurde darauf gelegt, dass mit der gewählten Technologie die Aufgabenerfüllung auf sinnvolle Weise möglich war. Erst dann wurden der Demonstrator einer Bewertung unterzogen. Aus den Rückmeldungen konnten wir feststellen, ob die technische Umsetzung geeignet war, den Testpersonen die jeweilige Komponente des Konzepts zu vermitteln. Wir erhielten damit einerseits Hinweise darauf, welche technischen Maßnahmen geeignet sind, das Konzept weiterzubringen und andererseits sammelten wir Erfahrung mit der technischen Umsetzung an sich.

Die Arbeit mit Demonstratoren wurde so lange fortgesetzt, bis die technische Umsetzung annähernd die Qualität erreicht hatte, die man von einem möglichen Produkt erwartet. Dazu dürfen keine Beschränkungen gegeben sein, welche die Aufgabenerfüllung beeinträchtigen (beispielsweise muss die Displayauflösung und die Reaktionszeit des Systems ausreichend sein) und es müssen alle wesentlichen Komponenten für die Aufgabenerfüllung vorhanden sein.

Diese Qualitätskriterien werden inzwischen von dem **Arbeitsplatzprototypen** erfüllt, der in Kap. 4 beschrieben wird. Er kann für verschiedene Aufgaben eingesetzt werden (z.B. Fluglotsentätigkeit, UAV-Sensorbedienung) und dient der Optimierung der Darstellung der virtuellen Umgebung und der Interaktion des Nutzers mit dem System.

#### 3.1. MPA-Demonstrator (2001)

Der erste Demonstrator diente vorwiegend der Erprobung der Display-Hardware für ein potenzielles Übersichtsdisplay und möglicher Interaktionsmethoden. Er hatte den taktischen Arbeitsplatz eines Aufklärungsflugzeugs zur Überwachung eines Seegebiets (Maritime Patrol Aircraft - MPA) zum Gegenstand. Umgesetzt werden sollten alle Aspekte des Konzeptes mit Ausnahme des Arbeitsdisplays. Als Display-Hardware wurde ein sogenanntes Head Mounted Display (HMD) ausgewählt (siehe BILD 3 links).

Bei diesem Gerät sitzt vor jedem Auge ein separates visuelles Display. Das HMD war so ausgeführt, dass der Benutzer nur das computergenerierte Bild sehen konnte, die reale Welt war für ihn unsichtbar. Die Verwendung eines HMDs macht es nötig, diejenigen Teile des Körpers des Benutzers in der virtuellen Umgebung nachzubilden und zu visualisieren, die für die Interaktion notwendig sind. In diesem Fall war dies die rechte Hand. Die Erfassung der Bewegungen des Kopfes und der Hand erfolgten über ein magnetisches Trackingsystem, die der Finger über einen Datenhandschuh (siehe BILD 3 rechts).

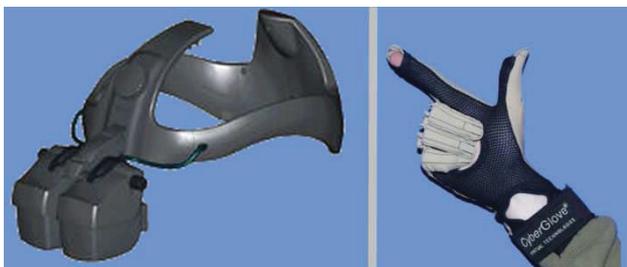


BILD 3 HMD (links) und Datenhandschuh (rechts).

Der Demonstrator wurde von Semmler [5] aufgebaut und untersucht. Die virtuelle Umgebung ist in BILD 4 aus der Sicht des Benutzers dargestellt. Man sieht das Übersichtsdisplay, das virtuelle Display eines Sensorbilds, die virtuelle Repräsentation der Hand des Benutzers sowie die Visualisierung eines Zeigestrahls, der dazu benutzt wird, Objekte auf dem Übersichtsdisplay anzuwählen.

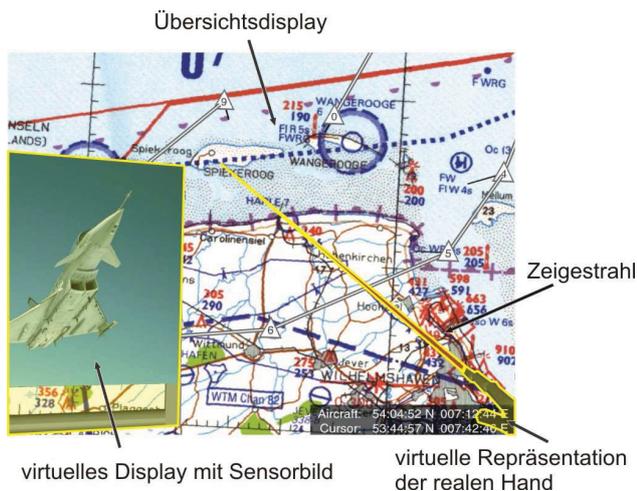


BILD 4 MPA-Demonstrator

Andere Formen der Interaktion mit der virtuellen Umgebung sind das Greifen und Berühren von Objekten und eine einfache Gestensteuerung, über die man beispielsweise die Karte auf dem Übersichtsdisplay verschieben kann.

Die Verwendung des HMDs als Visualisierungssystem erwies sich als nicht zielführend. Gründe hierfür waren die ungenügende ergonomische Qualität der Kopfbefestigung, die schlechte Optik mit starker Bildverzerrung und geringer Auflösung und Bildschärfe, sowie der begrenzte Sichtbereich (Field of View - FoV) von horizontal 40°, der eine Bewegung des Kopfes erforderte, wenn man das Übersichtsdisplay überblicken wollte. Diese Faktoren führten in Summe zu starker Ermüdung, sowohl der Au-

gen als auch der Nackenmuskulatur - für längeres Arbeiten erwies sich das HMD also als ungeeignet.

Die Interaktion über Gesten hingegen funktionierte gut. Der Zeigestrahl zur Anwahl von Objekten war jedoch weniger gut nutzbar, da bereits sehr kleine Winkelfehler zu großen Abweichungen auf der Karte führten, was ein schnelles und zielgerichtetes Arbeiten unmöglich machte.

Die virtuellen Displays und Bedienflächen erwiesen sich als brauchbar. Sie hoben sich durch die stereoskopische Darstellung sehr gut vom Übersichtsdisplay ab. Das Bewegen dieser Objekte mit den Fingern klappte jedoch weniger gut.

### 3.2. Routenplanungs-Demonstrator (2003)

Als Alternative zum HMD stand ab dem Jahr 2001 eine stereoskopische Rückprojektion (siehe BILD 5) mit einer Projektionsfläche von zwei Meter Breite und 1,5 m Höhe zur Verfügung.



BILD 5 stereoskopische Rückprojektion

Auch wenn die Einrichtung aufgrund ihrer Abmessungen und der damit verbundenen stehenden Arbeitsweise als Visualisierungslösung für einen Arbeitsplatz ausschied, war sie dennoch gut geeignet, um Lösungen für die Gestaltung des Arbeitsdisplays und die zugehörige Interaktion zu untersuchen.

Der Routenplanungs-Demonstrator war der erste Versuch, ein stereoskopisches Arbeitsdisplay zu realisieren und geeignete Interaktionsmöglichkeiten zu identifizieren. Die konkrete Aufgabe, die mit dem Arbeitsdisplay durchgeführt werden sollte, war die Planung einer Flugroute für ein UAV. Aufgebaut wurde er durch Speckbacher und Leisener [6], [7].

Die dreidimensionale Karte, welche dem Arbeitsdisplay zugrunde lag, geht auf die Arbeit von Peibst [8] zurück. Sie verfügt über einfache Möglichkeiten zum Verschieben und Skalieren der Ansicht. Außer den UAVs wurden dort auch Wegpunkte, Routelemente und Bedrohungsräume dargestellt.

Die Interaktion erfolgte hauptsächlich mit Hilfe eines Stiftes, der über haptische Rückmeldung (Vibration) verfügte. Mit einer sogenannten "Flying Mouse" wurde die Bewe-

gung eines mobilen Menüs gesteuert, das zur Kontrolle der Betriebsarten des Stiftes diente. BILD 6 links zeigt einen Benutzer bei der Interaktion mit den beiden Geräten. Die Person hält den Stift in der rechten und die "Flying Mouse" in der linken Hand.

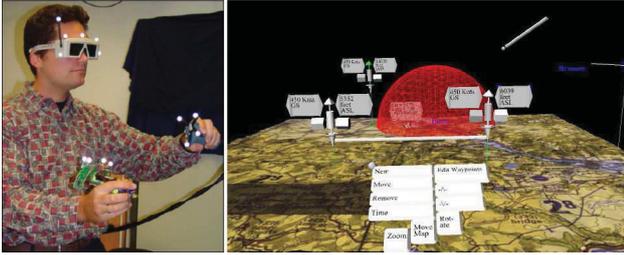


BILD 6 Hardware für die Zwei-Hand-Interaktion (links) und Darstellung der virtuellen Umgebung aus Benutzersicht [6]

In BILD 6 rechts ist die Visualisierung der virtuellen Umgebung dargestellt. Im Vordergrund sieht man das Menü, das über die "Flying Mouse" positioniert wird. Die einzelnen Menüpunkte können entweder mit dem Stift oder durch die Betätigung von Knöpfen auf der Flying Mouse angewählt werden.

Trotz gewisser operationeller Einschränkungen, die sich aus der technischen Umsetzung ergaben, konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- 1) Die zweihändige Interaktion erwies sich mit Einschränkungen als brauchbar. Das Setzen der Wegpunkte mit dem Stift war ebenso gut bedienbar wie das direkte Verschieben und Skalieren der Karte.
- 2) Die stereoskopische Darstellung wurde als hilfreich empfunden.
- 3) Der große Blickbereich, den die stereoskopische Rückprojektion bietet, wurde als sehr nützlich zum Erlangen eines Überblicks bewertet. Aufgrund der geringen Auflösung musste allerdings viel hinein- und herausgezoomt werden, um den Text an den Symbolen lesen zu können.
- 4) Bei der direkten Interaktion mit virtuellen Objekten ist es wichtig, die Bewegung der realen Objekte (der Stift oder die Hand des Benutzers) mit ihren virtuellen Repräsentationen präzise abzugleichen.
- 5) Die taktile Rückmeldung erwies sich als wenig hilfreich. Zum einen war sie aufgrund der geringen Wiederholrate des Systems nicht direkt genug und zum anderen trat, wenn man sich über die Karte bewegte und mit vielen Objekten kollidierte, ein ständiges Vibrieren auf, wodurch das Feedback nicht mehr einem bestimmten Objekt eindeutig zugeordnet werden konnte.

### 3.3. Luftraum-Demonstrator (2004)

Der Luftraum-Demonstrator wurde konzipiert, um den Einfluss einer korrekten stereoskopischen Darstellung auf das Wahrnehmen einer Luftraumsituation zu untersuchen. Der Aufbau orientiert sich am Radardisplay (Situation Data Display) der Fluglotsen. Es werden sowohl Lufträume, als auch Flugobjekte und deren geplante Routen dargestellt.



BILD 7 CAVE Visualisierungssystem

Als Visualisierungswerkzeug wurde eine CAVE eingesetzt, die wir ab dem Jahr 2004 zur Verfügung hatten (siehe BILD 7). Sie besteht aus vier Projektionsflächen, die wie die Seiten eines Würfels in rechten Winkeln zueinander angeordnet sind. Die Grundfläche hat eine Abmessung von 3 x 3 m, die Seitenhöhe beträgt 2,4 m. Auf jeder Projektionsfläche wird mittels Stereoskopie ein räumliches Bild erzeugt. Die einzelnen Bilder werden so aufeinander und auf die Kopfposition des Benutzers abgestimmt, dass sich für diesen ein räumliches Gesamtbild der computergenerierten Umgebung ergibt.

Die CAVE ist ebenso wie die stereoskopische Rückprojektion keine Lösung für einen operationellen Arbeitsplatz. Sie erwies sich jedoch als wertvolles Werkzeug zur Weiterentwicklung unseres Konzepts.

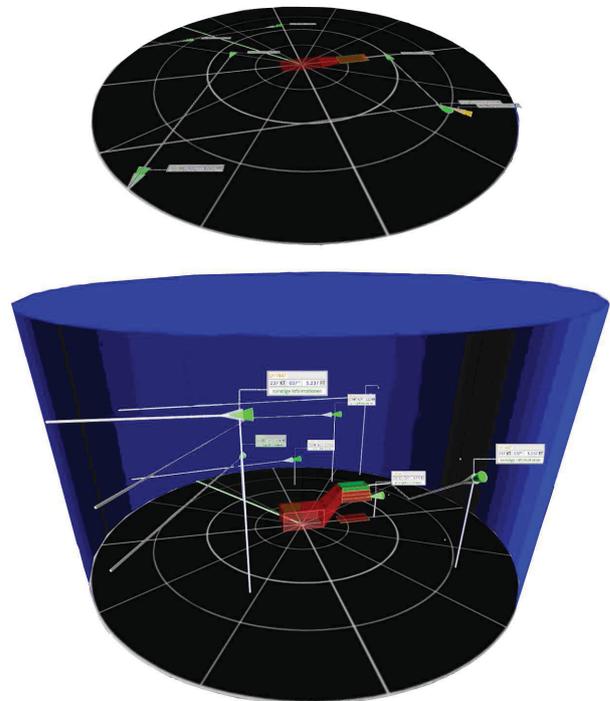


BILD 8 Konzeptdemonstrator zur Veranschaulichung des Einflusses der dritten Dimension für die Darstellung eines Luftraumes; 2D-Darstellung oben; 3D-Darstellung unten

Bei der Umsetzung des Luftraum-Demonstrators wurde sowohl auf eine ausreichende Bildwiederholfrequenz geachtet, als auch auf eine korrekte perspektivische Darstellung. Ein dreidimensionales Gelände wurde hier nicht implementiert. Die Visualisierung erlaubte sowohl eine zweidimensionale als auch eine dreidimensionale (siehe BILD 8, oben und unten) Darstellung des Szenarios. Die beiden Darstellungen konnten stufenlos ineinander überführt werden.

Alle Personen, denen der Demonstrator vorgeführt wurde, bestätigten, dass die dreidimensionale Ansicht die Wahrnehmung der Luftraumsituation wesentlich verbessert. Stellt man die gleiche Szene nicht stereoskopisch, sondern perspektivisch auf einem herkömmlichen Monitor dar, so ist die räumliche Wirkung wesentlich undeutlicher.

### 3.4. UAV-Demonstrator (2007)

Der UAV-Demonstrator war zur Führung von UAVs und der Bedienung ihrer Sensoren gedacht. Er sollte alle wesentlichen Aspekte unseres Konzeptes enthalten. Als Visualisierungswerkzeug wurde die stereoskopische Rückprojektion gewählt. Zur Bewegungsverfolgung kam ein optisches Trackingsystem zum Einsatz, welches sowohl Kopf- als auch Hand- und Fingerbewegungen erfassen kann.

Das Übersichtsdisplay wurde, wie in unserem ursprünglichen Konzept, als Teil einer Kugel ausgeführt, deren Abmessungen so gewählt wurden, dass das Display auf der stereoskopischen Rückprojektion zu jedem Zeitpunkt komplett dargestellt werden konnte (siehe BILD 9).

Die Karte des Arbeitsdisplays beruhte auf dem WGS84 Ellipsoiden und wurde aus DTED Daten erzeugt (DTED - Digital Terrain Elevation Data). Die Bildwiederholfrequenz war hoch genug, damit beim Verschieben, Drehen, Skalieren und Überhöhen des Arbeitsdisplays keine Unstetigkeiten wahrnehmbar waren. Eine variable Überhöhung ist notwendig, um die unterschiedlichen Höhen von Objekten leichter zu unterscheiden, vor allem wenn Bereiche mit großer lateraler Ausdehnung angezeigt werden [8]. Die Höhen wurden zusätzlich durch Farbcodierung hervorgehoben (siehe BILD 10).

Das Interaktionskonzept basiert auf der direkten Bedienung der virtuellen Objekte mit den Fingern des Benutzers. Zusätzlich gibt es virtuelle Bedienflächen und Interaktionshebel. Die Bedienflächen enthalten Tasten, aber auch eine stufenlose Eingabe von Werten ist möglich. Die Art der Interaktion wird über Gesten gesteuert.

Das Übersichtsdisplay wurde nur statisch realisiert, da das Hauptaugenmerk beim UAV-Demonstrator auf dem Arbeitsdisplay und der Interaktion lag, die mit allen geplanten Komponenten umgesetzt wurde. Flugobjekte konnten entweder mit Hilfe von abstrakten Symbolen oder als Abbilder der realen Flugzeuge dargestellt werden. Bei der Darstellung realistischer Flugzeuge konnte der Benutzer außerdem wählen, ob die korrekte Fluglage angezeigt werden sollte. Luftstraßen und Bedrohungsräume konnten ebenso präsentiert werden wie die geplante Routen von Flugobjekten. Das Arbeitsdisplay ist in BILD 10 abgebildet.

Die Flugobjekte und ihre Bewegung konnten entweder lokal generiert oder aus einer externen Simulation bezogen werden, wodurch auch die Begutachtung komplexerer Szenarien möglich war.

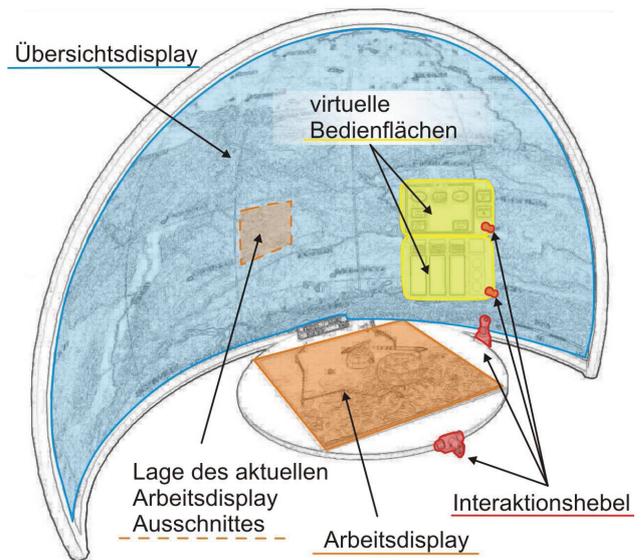


BILD 9 Prinzipskizze des UAV-Demonstrators

In die Gestenerkennung wurden die drei Funktionen "Anwählen", "Greifen" und "Zeigen" implementiert. Diese Gesten definieren den Modus, über den eine bestimmte Interaktion ausgeführt wird, wenn eine Kollision des Zeigefingers mit einem virtuellen Objekt auftritt.

Im Interaktionsmodus "Greifen", konnte das Arbeitsdisplay über die Interaktionshebel gekippt und verschoben und die Bedienflächen neu positioniert werden. Der Interaktionsmodus "Anwählen" ermöglichte eine Bedienung der virtuellen Bedienflächen, während über den Interaktionsmodus "Zeigen" die Steuerung des Sensors eines UAVs auf der dreidimensionalen Karte möglich war.

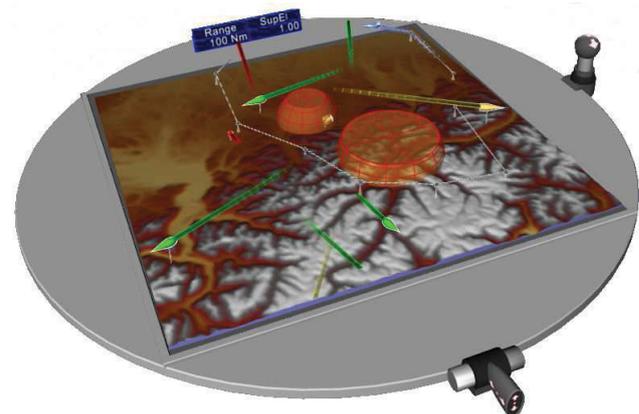


BILD 10 Arbeitsdisplay mit Flugobjekten, Bedrohungsräumen und Routendarstellung inklusive Interaktionshebeln zur Veränderung der Position und Orientierung des Arbeitsdisplays

Der Demonstrator (siehe BILD 11) erfüllte die wesentlichen Anforderungen bezüglich Bildwiederholfrequenz und präziser Darstellung. Durch die Verwendung einer exakten Georeferenzierung konnten auch realistische Szenarien dargestellt werden. Dabei hat sich die künstliche

Überhöhung als ein wesentliches Mittel zur unmittelbaren Diskriminierung unterschiedlicher Höhen erwiesen. Außerdem wurde festgestellt, dass die Höhenkodierung der dreidimensionalen Karte durch Farbe die optische Wahrnehmung des Geländes beeinflusst und daher in einem operationellen System besonders berücksichtigt werden muss. Eine Interaktion zwischen Arbeits- und Übersichtsdisplay, die in diesem Demonstrator nicht realisiert war, scheint für eine schnelle Navigation und Orientierung notwendig. Die implementierten Interaktionen schienen leicht erlernbar zu sein. Nach einer kurzen Trainingsphase konnten die Bediener sofort mit dem System interagieren. Die Bedienwege sind zum Teil jedoch recht weit und die erreichbare Präzision ist nicht für alle Anwendungsfälle ausreichend.

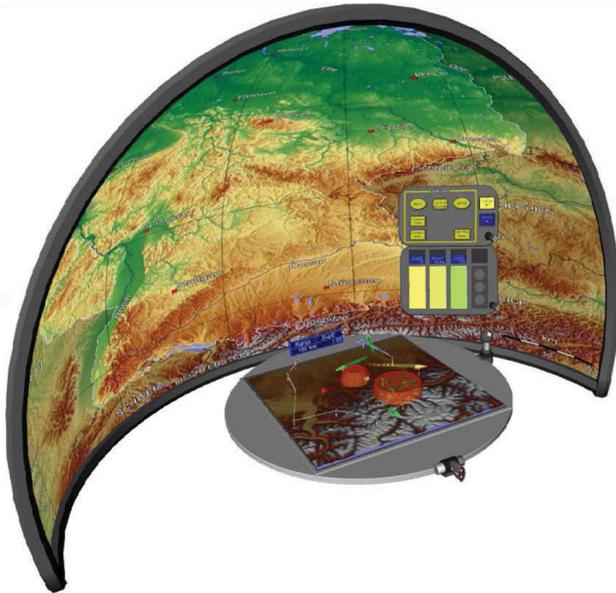


BILD 11 UAV-Demonstrator

#### 4. ARBEITSPLATZPROTOTYP (2010)

Bereits 2004 wurde eine Arbeitsplatzkonsole konzipiert, die auf dem Prinzip der Rückprojektion beruht. Ein virtuelles Modell des Arbeitsplatzes wurde in der CAVE im Maßstab 1:1 visualisiert (siehe BILD 12). Das Konsolendisplay besteht aus zwei Projektionsflächen, die in einem Winkel von 120° zueinander angeordnet sind. Dies soll dafür sorgen, dass der Benutzer direkt in die virtuelle Szene, die vor den beiden Flächen erscheint, hineingreifen und damit interagieren kann.

Dieses Konzept wurde später wieder aufgegriffen, um einen Arbeitsplatzprototypen zu bauen, mit dem es möglich ist, unser Konzept in einem relevanten Arbeitsumfeld zu demonstrieren und zu erproben. In einer ersten Anwendung ging es darum, die Sensorbilder, die während eines Fluges erzeugt wurden, auf ein dreidimensionales Gelände zu projizieren. Das zweite Projekt, ein Teilprojekt des Forschungsprogramms *innovativer Airport (iPort)*<sup>1</sup>, dient der Erprobung verschiedener stereoskopischer Darstellungsvarianten zur Anzeige der Verkehrssituation an einem Fluglotsenarbeitsplatz.

<sup>1</sup> Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages.



BILD 12 Konzeptskizze einer Arbeitsplatzkonsole, die auf dem Prinzip der Rückprojektion basiert

Der Arbeitsplatzprototyp ist in BILD 13 dargestellt. Kernstück ist das stereoskopische Display, welches auf hohe Bildschärfe und Auflösung hin optimiert wurde. Die geknickte Scheibengeometrie bedeutet eine Abkehr von der Halbkugel. Sie dient dazu, direkt mit den virtuellen Objekten zu interagieren und erlaubt es, die virtuellen Objekte möglichst nahe an den bildgebenden Ebenen entlang zu führen. Damit kann die Entkopplung von Akkommodation und Konvergenz, wie sie bei der stereoskopischen Visualisierung auftritt, möglichst gering gehalten werden. Um so viel Displayfläche wie möglich für das Übersichts- und Arbeitsdisplay verfügbar zu haben, wurden die virtuellen Bedienflächen des Kugelkonzepts als reale Bedienflächen implementiert. Da die direkte Interaktion mit virtuellen Objekten hinsichtlich der erreichbaren Präzision und der notwendigen Bedienwege Schwächen aufweist, wurde der Prototyp so gestaltet, dass auch herkömmliche Hardware wie Maus, Ziffernblock (NumPad) oder SpaceMouse verwendet werden kann.

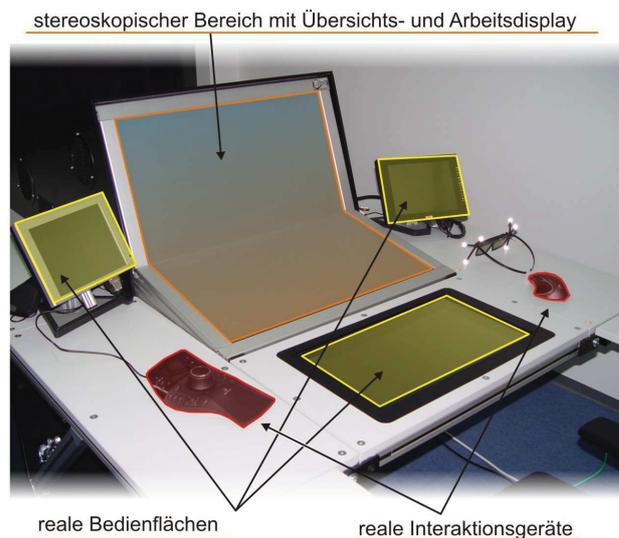


BILD 13 Arbeitsplatzprototyp mit Komponenten

Ein Beispiel für die Aufteilung des stereoskopischen Displaybereiches ist in BILD 14 dargestellt. Der besseren Sichtbarkeit halber wurde die Fotografie des Visualisierungssystems mit einem Screenshot aus der Anwendung überlagert. Das Übersichtsdisplay ist im oberen Display-

bereich angeordnet, während sich das Arbeitsdisplay im unteren Bereich befindet, allerdings, je nach Höhe des dargestellten Geländes, auch in den oberen Displaybereich hineinreicht.

Der Arbeitsplatzprototyp wird nicht nur für die Weiterentwicklung von VR-basierten Mensch-Maschine-Schnittstellen verwendet. Er ist auch geeignet, Fragen zu beantworten, die sich im Zusammenhang mit einem möglichen operationellen Einsatz der Stereoskopie ergeben, beispielsweise, ob an einem derartigen Arbeitsplatz längerdauernde, konzentrierte Tätigkeiten ohne physiologische Beschwerden möglich sind.



BILD 14 Aufteilung des stereoskopischen Displaybereiches in Übersichts- (oben) und Arbeitsdisplay (unten).

Erste Erfahrungen mit dem Prototypen zeigen, dass Auflösung und Bildschärfe ausreichend sind. Bei der Arbeit mit dem stereoskopischen Display wurden bis jetzt auch keine negative Auswirkungen auf den Benutzer festgestellt. Die Probanden, die im Rahmen von Experimenten zum Teil mehr als 2,5 Stunden durchgehend damit arbeiteten, zeigten weder überdurchschnittliche Ermüdung noch waren Veränderungen des Sehvermögens zu verzeichnen.

## 5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Unser vor über 10 Jahren formuliertes Konzept der *gleichzeitigen Verwendung eines Übersichts- und eines Arbeitsdisplays* hat sich bis heute als belastbar erwiesen. Es deckt einen weiten Bereich von möglichen Anwendungen ab, kann also ebenso auf die Führung von unbemannten Flugzeugen wie für die Luftraumüberwachung angewendet werden. Es ist für die Planung von Missionen einsetzbar, für ihre Durchführung, die Analyse und das Training der Operateure.

Die Kombination aus Übersichts- und Arbeitsdisplay scheint das Situationsbewusstsein wie beabsichtigt zu verbessern. Die Navigation gestaltet sich schnell und einfach und der Überblick geht auch bei konzentrierter Arbeit mit dem Arbeitsdisplay nicht verloren.

Bezüglich der Gestaltung von HMIs ist festzuhalten, dass der Einsatz von Stereoskopie das HMI nicht automatisch besser nutzbar macht, im Gegenteil: das Hinzufügen der

dritten Dimension gestaltet die Auslegung der Mensch-Maschine-Schnittstelle insgesamt eher anspruchsvoller. Entwürfe, die sich in der zweidimensionalen Welt bewährt haben, funktionieren häufig nicht mehr, wenn man sie um die dritte Dimension erweitert. Dies bedeutet, dass dreidimensionale HMIs eigene Konzepte erfordern, wobei der operationelle Nutzen jedes Mal wieder kritisch hinterfragt werden muss. Die Stereoskopie ist auch nicht für alle Aufgaben die optimale Lösung. Selbst bei der Arbeit mit dreidimensionalen (Luft-)Räumen gibt es Aufgaben, für die eine zweidimensionale Darstellung besser geeignet ist. Es hat sich daher bewährt, sowohl 2D- als auch 3D-Techniken zu verwenden, um so dem Benutzer die beste Visualisierungs- und Interaktionslösung für seine jeweilige Aufgabe zu bieten.

Bei der Bewertung von dreidimensionalen Visualisierungs- und Interaktionslösungen ist zu beachten, dass es kaum Benutzer mit Erfahrung im Umgang mit 3D-HMIs gibt. Es ist daher zu erwarten, dass Testpersonen, die ausgewiesene Experten mit 2D-Anwendungen sind, Strategien, die sie bei ihrer Arbeit mit zweidimensionalen HMIs erworben haben, auf die Arbeit mit 3D-HMIs übertragen. Diese Strategien müssen für die Arbeit mit einer 3D-Umgebung jedoch nicht unbedingt optimal sein. Untersuchungen, die den Vergleich von Fluglotsen und Laien bei der Konflikterkennung mit 2D- und 3D-Visualisierungen zum Gegenstand hatten, ergaben, dass Laien bei der Beurteilung der Konfliktsituationen von der 3D-Darstellung profitieren, während die Leistung der Experten mit 3D nicht besser war als mit der gewohnten 2D-Darstellung [9]. Stereoskopische Darstellungen scheinen also durchaus das Potenzial zu haben, die Leistung bei bestimmten Aufgaben zu verbessern, wenn die Nutzer über die passenden Strategien verfügen.

Durch die Arbeiten der letzten 10 Jahre sind wir heute in der Lage, stereoskopische Arbeitsplätze zu entwickeln, die realistische, komplexe Szenarien darstellen und mit denen Benutzer typische Aufgaben bearbeiten können. Das erlaubt es uns, ungeklärte Aspekte bezüglich des Nutzens der stereoskopischen Darstellung und der Leistungsfähigkeit von neuen Interaktionsmethoden zu untersuchen. Nach unserer heutigen Einschätzung wird die Stereoskopie in Zukunft nicht nur in der Unterhaltungsindustrie (3D-Filme etc.) in größerem Maßstab eingesetzt werden, sondern es werden auch zunehmend Arbeitsplatzsysteme entstehen, die über stereoskopische HMIs verfügen.

- [1] Hennig, A., *Die andere Wirklichkeit*. Addison-Wesley, Bonn, 1997
- [2] Vogelmeier, L., Sandl, Dr. P., Gillner, Dr. W., Kounovsky, B., *What you see is what you get- die Virtual-Reality-Technik im Entwicklungsprozess von Flugzeugen*, DGLR Kongress, Leipzig, 2000
- [3] Vogelmeier, L., Neujahr, H., Sandl, Dr. P. *Virtual Reality in Military Aircraft Design – Practical Experiences in Cockpit Upgrades*, IEA Congress, Maastricht, 2006
- [4] Cruz-Neira, C., Sandin, D., DeFanti, T., Kenyon, R., Hart, J., *The CAVE: audio visual experience automatic virtual environment*. In: Communications of the ACM 35 (6), S. 64-72, New York, 1992

- [5] Semmler, Ch., *Virtual Reality im operationellen Einsatz*, Diplomarbeit Berufsakademie Ravensburg, Tettnang, 2001
- [6] Leisener, M. *Interaktionswerkzeuge für dreidimensionale Routenplanung in einer virtuellen Umgebung*, Diplomarbeit Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 2003
- [7] Speckbacher, H. *Virtual Reality Arbeitsplatz zur Steuerung eines UAV (Unmanned Airborne Vehicle)*, Diplomarbeit Berufsakademie Ravensburg, Friedrichshafen, 2003
- [8] Peibst, A., *Entwicklung eines Prototypen zur dynamischen 3D Kartenvisualisierung in militärischen Flugzeugcockpits*, Diplomarbeit Fachhochschule München, München, 2001
- [9] Wittmann, D., Baier, A., Neujahr, H., Petermeier, B., Vernaleken, C. Vogelmeier, L., *Stereoskopische Anzeigen für die Flugsicherung*, 9. Berliner Werkstatt Mensch Maschine, Berlin, 2011