

Challenges in Developing VR-based Desktop Flight Simulation Training Devices for Small Flight Schools and Flying Clubs

Mario Donick und Walker Guthrie

Abstract: The positive effects of Flight Simulation Training Devices (FSDT) for the training of professional pilots is well-known. Small flight schools and flying clubs in the private and amateur sector could also profit from the advantages of FSDT's, but the costs and administrative efforts of typical FSDT's are often too high for such small actors. VR-based FSDTs could fill this gap, because hardware and software are based on consumer products. Requirements on VR-based FSDTs are related to the perception of the simulated situation, both in terms of the body (German "Körper") and the lived body (German "Leib"), as well as the interaction with the simulated systems. Challenges exist regarding performance, visual quality and interaction in the VR world. Here different assessments are necessary for different training scenarios. This is evaluated in on-going research.

Herausforderungen der Entwicklung VR-basierter Desktop Flight Simulation Training Devices für kleine Flugschulen und Vereine

Mario Donick und Walker Guthrie¹

Abstract: Der Nutzen von Flight Simulation Training Devices (FSDT) für die Ausbildung von Berufs- und Verkehrspiloten ist bekannt. Auch kleinere Flugschulen und Vereine im Privat- und Hobbybereich könnten von solchen Vorteilen profitieren, doch sind klassische FSDTs durch solche Akteure oft nicht finanzier- und administrierbar. VR-basierte FSDTs können hier eine Lücke füllen, da sowohl Hard- als auch Software aus Consumer-Produkten besteht. Anforderungen an VR-basierte FSDTs betreffen Aspekte körperlicher und leiblicher Wahrnehmung der simulierten Situation sowie hinsichtlich der Interaktion mit den simulierten Systemen. Herausforderungen bestehen hinsichtlich Performanz, Darstellungsqualität und Interaktion, wobei hierzu je nach Trainingsszenario unterschiedliche Bewertungen nötig sind. Dies wird durch noch laufende qualitative Forschung untersucht.

Keywords: Flight Simulation Training Device, Human Computer Interaction, Virtual Reality

1 Einleitung

Kleine Flugschulen und Vereine im Privat- und Hobbybereich verfügen zumeist nicht über Flugsimulatoren für Trainingszwecke; die Ausbildung findet direkt auf dem fliegendem Material statt, wodurch die oft wenigen Flugzeuge oder Luftsportgeräte stark belastet werden. Die Ausbildung ist von der Verfügbarkeit des fliegenden Materials und von externen Bedingungen (v.a. Wetter) abhängig, wodurch längere Pausen zwischen den Flugstunden entstehen können. Bereits erworbenes Wissen und erworbene Handlungskompetenzen drohen wieder verloren zu gehen.

Die von der European Aviation Safety Agency (EASA) und der amerikanischen Federal Aviation Agency (FAA) zugelassenen Flight Simulation Training Devices (FSTD)² unterliegen klaren Regelungen [EA12; Mo15] und umfassen zumindest in den Klassen Flight Training Device (FTD) und Full Flight Simulator (FFS) komplexe Hardware-Setups, die von kleinen Schulen und Vereinen oft nicht finanzierbar und administrierbar sind. Damit können die positiven Effekte von Flugsimulatoren, wie sie in der Ausbildung von Berufs- und Militärpiloten seit Jahrzehnten bekannt sind [; vgl. KRB16, A110, Ha92],

¹ vFlyteAir Simulations Inc, 120 Manchester Lane, Austin, TX 78737; Autorkontakt: m.donick@outlook.de; Vielen Dank an die Gutachter für die zahlreichen Hinweise.

² Der englische Begriff Flight Simulation Training Device und die Abkürzung FSDT sind international üblich und kann nicht einfach als „Flugsimulator“ übersetzt werden, vgl. Kap. 3 unseres Beitrags. Dass wir im Text dennoch von „Flugsimulator“ oder „Flugsimulation“ sprechen, ist der einfacheren Lesbarkeit geschuldet.

im Privat- und Hobbybereich nicht wirken. Handelsübliche Desktop-Flugsimulationssoftware (d.h. Software, die auf normalen PCs läuft, wie Prepar3D und X-Plane) könnte, in Kombination mit geeigneter Consumer-VR-Hardware (Oculus Rift, HTC Vive), hier Abhilfe schaffen.

In diesem Beitrag werden vorsichtige Erfahrungen mit der Entwicklung VR-basierter Flugsimulations-Szenarien mit einem wahrnehmungstheoretischen Hintergrund zu Virtual Reality (VR) verbunden. Es wird von der Alltagsbeobachtung ausgegangen, dass grundlegende praktische Abläufe statt mit traditionellen FSTDs auch in einer VR-Umgebung mit Hilfe handelsüblicher Consumer Hard- und Software nachgestellt werden können.³ Es wird die These verfolgt, dass so auch Trainingseffekte erzielt werden können, und dass der Transfer der Trainingseffekte auf echte Flugsituationen möglich ist. Damit sind jedoch mehrere Herausforderungen verbunden. Eine besondere Rolle nehmen dabei Fragen körperlicher und leiblicher [Sc11; Do16b] Wahrnehmung der simulierten Situation sowie die Interaktion mit den simulierten Cockpit-Systemen ein.

Der Beitrag ist wie folgt gegliedert: Es wird zunächst ein kurzer Abriss zum Forschungsstand (Kap. 2.1) und theoretischer Grundlagen zur Wahrnehmung körperlicher (Kap. 2.1) und leiblicher (Kap. 2.2) Aspekte virtueller Realität gegeben. Anschließend werden verschiedene Arten von Flight Simulation Training Devices behandelt (Kap. 3.1). Basierend auf dieser Einordnung und unter Rückgriff auf die vorher eingeführte Theorie zur Wahrnehmung von VR-Situationen werden anhand von zwei Beispiel-Szenarien Herausforderungen abgeleitet hinsichtlich der Wahrnehmung der mit VR simulierten Flugsituationen sowie der Interaktion mit der Software Flugsimulation (Kap. 4). Der Beitrag endet mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf weitere Forschung (Kap. 5).

2 Desktop-Flugsimulation und virtuelle Realität

2.1 Forschungsstand

Systematische, auch quantitativ aussagekräftige Forschungsergebnisse zur Nutzung von Consumer-VR-Systemen mit üblichen Desktop-Flugsimulatoren für das explizite Ziel des Trainings sind bisher nicht publiziert.

Ein Autor dieses Beitrags hat bisher aus kommunikationssoziologischer und phänomenologischer Perspektive Bedienungsprobleme von Desktop-Flugsimulatoren [Do16a] untersucht, aber nur bezogen auf das Abarbeiten von Checklisten mittels klassischer Desktop User Interfaces (d.h. Bildschirm, Tastatur, Maus, Joystick). Virtuelle Realität wurde bisher unter generellen körperlichen und leiblichen Aspekten von VR-Wahrnehmung in Spielen und Filmen untersucht, insbesondere in Bezug auf Bewegung

³ „Alltagsbeobachtung“ meint hier die eigene Entwicklung und Nutzung von Flugsimulations-Modellen sowie den selbst erfahrenen Transfer erworbenen Wissens und erworbener Fähigkeiten auf echte Flugsituationen.

und Raum [Do16b], aber noch nicht auf Flugsimulation bezogen.

Arbeiten, die VR und Flugsimulation explizit verbinden, gibt es aus ingenieurwissenschaftlicher Perspektive. Oberhauser et al. stellen einen „Virtual Reality Flight Simulator“ vor, der allerdings nicht für das Training gedacht ist, sondern für das Rapid Prototyping von Mensch-Maschine-Schnittstellen in einer Cockpit-Umgebung, etwa während der Entwicklung neuer Flugzeuge [Ob16]. Die Autoren sehen ihren Simulator zwischen Desktop-Flugsimulationen und Full Flight Simulatoren, ohne eine dieser Kategorien ersetzen zu wollen [Ob15].

Valentino et al. entwickeln ebenfalls einen „Virtual Reality Flight Simulator“, doch kommt dies eher einer einfachen Technologiedemonstration eines VR-Systems gleich; die Autoren nehmen keine Einordnung zu rechtlich relevanten Definitionen von FSDTs vor und gehen auch nicht auf wahrnehmungsrelevante Aspekte von VR ein [VCJ17]. Aslandere et al. untersuchen, wie die Darstellung von Handsymbolen in virtuellen Cockpit-Umgebungen die Effizienz der Interaktion beeinflusst. Insbesondere stellen sie fest, dass die Präzision der Interaktion von Größe und Form des Hand-Symbols abhängt [ADP15] – das ist insbesondere wichtig, weil ein Flugzeugcockpit zahlreiche, teils kleine Bedienelemente umfasst, die bei der noch immer schlechten Bildschirmauflösung von VR-Brillen trotzdem schnell und präzise bedient werden müssten.

Weitere Veröffentlichungen zum Zusammenhang von VR und Flugsimulation behandeln medizinisch-psychologische Themen (etwa zur erfolgreichen Nutzung von VR zur Behandlung von Flugangst, [Mü01]) oder diskutieren Trainingseffekte von FSDTs, ohne aber Desktop- und Consumer-Produkte einzubeziehen [KRB16, Wa15, Al10, Ha92].

2.2 Körperliche Aspekte von VR

Körperliche Aspekte der Wahrnehmung virtueller Umgebungen betreffen (1) die üblichen Sinneswahrnehmungen, d.h. insbesondere das Sehen, das Hören und das Tasten sowie (2) die Bewegung des Körpers:

(1) VR-Anzeigeeinheiten sind vorwiegend auf das räumliche Sehen ausgelegt. Der subjektive Eindruck, an einem Ort oder in einer Umgebung zu sein (Präsenz, [WS98]) wird vornehmlich durch die visuelle Wahrnehmung erzeugt, in einem virtuellen Raum zu sein (anstatt nur von außen auf eine Bildschirmdarstellung dieses Raumes zu blicken). Dafür sind einerseits stereoskopische Effekte, andererseits ein möglichst weites Gesichtsfeld von Bedeutung. Ergänzt wird die visuelle Darstellung durch passende auditive Elemente, die sich je nach Lage des virtuellen Körpers im Raum verändern können. Der Tastsinn wird in derzeitigen Consumerprodukten kaum berücksichtigt; was mit den Händen ertastet wird, ist in der Regel die zur VR-Hardware gehörende Eingabeeinheit.

(2) Analog zur zentralen Rolle der visuellen Wahrnehmung ist die Veränderung der visuellen Darstellung durch Veränderung des eigenen Körpers. Dazu gehört mindestens

die Möglichkeit, durch Kopfdrehung die Blickrichtung zu ändern, denn erst so wird die Wahrnehmung einer vollständigen Umschlossenheit durch den virtuellen Raum ermöglicht. Die Wahrnehmung des virtuellen Raums als der Raum, in dem man sich befindet, wird verstärkt, wenn weitergehende körperliche Bewegungen in Bewegungen innerhalb des virtuellen Raums übersetzt werden (d.h. der echte Körper geht einen Schritt nach vorn und der virtuelle Körper tut dies ebenfalls).

2.3 Leibliche Aspekte von VR

Neben körperlichen Wahrnehmungen, die sich konkreten Sinnesorganen zuordnen lassen, gibt es auch Wahrnehmungen, die für das wahrnehmende Subjekt unzweifelhaft vorhanden, aber nicht objektiv bestimmbar sind. In der Wahrnehmungsphilosophie (Phänomenologie) spricht man hier von leiblichen Wahrnehmungen [Za07; Sc11]. Ein Beispiel ist das Bewegen eines Fahrzeugs. Mit einiger Erfahrung kann man es kollisionsfrei bewegen, ohne stets exakte oder aktuelle körperliche Sinnesdaten zur Ausdehnung des Fahrzeugs bzw. zur räumlichen Position seiner Grenzen zur Verfügung zu haben. Man kann Zentimeter vom anderen Fahrzeug entfernt sein und trotzdem sicher aneinander vorbeifahren. Auch die Bewegung in sehr zeitkritischen Situationen läuft eher leiblich denn körperlich ab: Droht eine Kollision des eigenen PKW mit einem anderen Fahrzeug oder einem Fußgänger, dann versucht man in Sekundenschnelle auszuweichen; die dafür nötigen Entscheidungen werden nicht durch die rationale Auswertung körperlicher Sinnesdaten getroffen, sondern erfolgen intuitiv aufgrund leiblicher Wahrnehmung der eigenen Position und Bewegung im Raum [Sc11]. Ähnliche Beispiele finden sich in Flugunfallberichten aus der Luftfahrt [ED04, vgl. Do16a].

Bei VR-Software in App Stores wird oft eine Nutzerbewertung angezeigt, für wie „angenehm“ die von der jeweiligen Software gebotene VR-Erfahrung eingeschätzt wird [Do16b]. Aus alltäglicher Sicht eines VR-Nutzers geht es beim „Angenehmen“ meist darum, ob eine VR-Erfahrung durch Bewegung Übelkeit auslöst, womit v.a. *körperliche* Auswirkungen widersprüchlicher Sinnesdaten abgedeckt sind (der echte Körper sitzt fest auf einem Stuhl, während man in der virtuellen Welt z.B. mit einem Flugzeug fliegt). Ob eine Erfahrung angenehm ist oder nicht, kann aber weitere Faktoren umfassen, insbesondere die Wahrnehmung des virtuellen Raumes sowie der Objekte, die in diesem Raum wahrgenommen werden. Nimmt man z.B. die Position eines Akteurs ein, dessen virtueller Körper grafisch oder filmisch dargestellt wird, also perspektivisch wie ein echter Körper wahrzunehmen ist, und führt dieser virtuelle Körper ein Glas Wein an den Mund, kann es zu der *leiblichen* Wahrnehmung kommen, dass tatsächlich das Glas den (echten) Mund berührt [Do16b].⁴ Ähnlich können Wahrnehmungen wirken, die durch den Raum

⁴ Aus neurowissenschaftlicher Forschung zu Körpermodellen und Selbstwahrnehmung kennt man ähnliche Fälle, etwa das bekannte Experiment mit der Gummihand, deren Berührung die Wahrnehmung erzeugt, die eigene (echte) Hand wäre berührt worden [BC98], sofern dieses Objekt einer echten Hand optisch ähnelte [Ts10]. Phänomenologisch wird hierzu kritisiert, dass die Neurowissenschaft solche wahrgenommenen Phänomene als Konstrukte des Gehirns und damit als Illusionen bewerte [Fu17]; für uns sind, unabhängig von dieser Diskussion, solche Phänomene wesentlich für das Erleben von Präsenz im virtuellen Raum.

selbst bestimmt werden, etwa enge Räume (wie das Cockpit einer kleinen Propellermaschine), sich in der Bewegung auf das wahrnehmende Subjekt verengende Räume (z.B. der Boden, der während einer Landung schnell näherkommt und das Sichtfeld einschränkt), oder eine endlose Weite (etwa das Eintauchen mit dem Flugzeug in eine Wolkenschicht mit folgendem Orientierungsverlust). Die Erzeugung solcher Wahrnehmungen kann, trotz eines ggf. damit einhergehenden unangenehmen Gefühls, wohl als Erfolg des VR-Systems angesehen werden, denn solche Wahrnehmungen sind für den Moment der Wahrnehmung ein starker Beitrag für das Präsenzerleben in der virtuellen Umgebung und damit grundsätzlich anzustreben.

3 Flight Simulation Training Devices (FSTD)

Die Frage, ob eine Software, mit der das Fliegen nachgestellt werden kann, als Spiel oder Simulation zu bezeichnen ist, und ob sie als Simulation denn auch für Trainingszwecke geeignet oder zugelassen ist, wird von Herstellern solcher Software oft nur im Sinne ihres Marketings beantwortet und in Nutzercommunitys teils leidenschaftlich diskutiert. So wirbt Laminar Research, Hersteller der Flugsimulations-Software X-Plane, damit, dass ihr Produkt von der amerikanischen FAA zertifiziert wäre. Ähnliche Aussagen gibt es für Microsofts ältere Enterprise Simulation Platform (ESP; der Kern entspricht dem bekannten MS Flight Simulator) sowie Lockheed Martins Prepar3D (P3D). X-Plane, ESP und P3D sind alles Software-Produkte, die grundsätzlich auf einfachen Desktop-Rechnern laufen und sich mit Consumer-VR-Technik (Oculus; Vive) verbinden lassen. Sie alle können aber auch Grundlage größerer Hardwaresimulatoren sein. Ob und wie sich davon etwas für Trainingszwecke unterscheidet, ist daher vom tatsächlichen Einsatzkontext abhängig. Zu unterscheiden sind hierbei erstens der tatsächliche Trainingseffekt und zweitens die rechtliche Zulassung als offiziell anerkannte Trainingsgeräte.

3.1 Einordnung von Trainingseffekten von Desktop-Flugsimulationen

Mit tatsächlichem Trainingseffekt für ein Individuum ist gemeint, welche Theorien und praktischen Verfahren mit der eingesetzten Soft- und Hardwarekombination demonstriert, nachgestellt und geübt werden können, und inwieweit die Trainingssituationen und die erzielten Effekte der Wirklichkeit entsprechen bzw. hinterher in wirklichen Flugsituationen angewandt werden können. Ein Beispiel: Nur, weil man am heimischen Flugsimulator eine Cessna C172 schon hundertmal erfolgreich auf einem Flugplatz gelandet hat und dabei umfangreiches theoretisches Wissen und Handlungskompetenzen erworben hat, heißt das nicht, dass man diesen Flugzeugtyp nun auch in der Wirklichkeit landen kann. Während theoretisches Wissen ggf. anwendbar bleibt, sind die erworbenen Handlungskompetenzen sämtlich auf den Simulator und die simulierte Situation ausgerichtet. Wenn man etwa im Landevorgang die Landeklappen ausfährt, dann bedient man tatsächlich keine Landeklappen, sondern man nimmt eine Eingabe am Simulator vor, die von der Simulatorsoftware verarbeitet wird und zu einer Ausgabe führt, die man ggf.

wahrnimmt. Man lernt damit zunächst nur, wie man den Simulator bedient (im einfachsten Fall: Welche Taste man auf einem PC-Keyboard drücken muss) und nimmt Auswirkungen im Simulationskontext wahr. Über den Transfer dieses Wissens und dieser Kompetenzen in tatsächliche Situationen sowie die Passung der Wahrnehmungen und Interaktionen während der Simulation zu den zu erwartenden Wahrnehmungen und Interaktionen der echten Situation ist damit noch nichts gesagt.

3.2 Klassifikation von Flight Simulation Training Devices

Es ist rechtlich sehr klar geregelt, welche Hard- und Softwarekombinationen unter welchen Umständen als Flight Simulation Training Device (FSTD) zugelassen sind. Dabei ähneln sich die Vorschriften und Definitionen der EASA und der amerikanischen FAA. Folgende Klassen von FSTDs werden unterschieden:

Full Flight Simulators (FFS): Das sind Geräte, die das Cockpit oder Flight Deck eines spezifischen Flugzeugmusters oder einer zusammengehörigen Serie von Mustern in Originalgröße wiedergeben. Das umfasst (a) Hard- und Software, die zur Wiedergabe der Boden- und Flugoperationen dieses Musters oder der Serie nötig ist, (b) ein visuelles Ausgabesystem für die Darstellung der Umgebung, in der sich das simulierte Flugzeug befindet, sowie (c) eine Bewegungsplattform, die synchron zur visuellen Darstellung die körperliche Wahrnehmung von Bewegung erzeugt. Innerhalb der FFS unterscheidet die FAA die Level A bis D, womit unterschiedlich komplexe FFS möglich werden [Mo15].

Flight Training Devices (FTD): Das sind Geräte, die die Instrumente, Kontrollen und Ausrüstung des Cockpits oder Flight Decks eines spezifischen Musters wiedergeben. Wie beim FFS sind auch beim FTD Hard- und Software zur Wiedergabe der Boden- und Flugoperationen nötig, es kann aber auf ein visuelles Ausgabesystem und eine Bewegungsplattform verzichtet werden.

Flight and Navigation Procedures Trainer (FNTP): Das sind Geräte, die das Cockpit oder Flight Deck eines Flugzeugs oder einer Klasse von Flugzeugen in Flugoperationen so repräsentieren, dass die Systeme so wie im Flugzeug funktionieren. Wie beim FFS und FTD umfasst das – musterabhängig – Hard- und Software. FNTPs entsprechen in etwa den Advanced Aviation Training Devices (AATD) der FAA, insofern AATDs eine realistische Cockpit-Konfiguration haben sollen [Mo15].

Basic Instrument Training Device (BITD): Das sind Geräte, die ein Cockpit oder Flight Deck einer Klasse von Flugzeugen so repräsentieren, dass mindestens typische Verfahren des Instrumentenflugs trainiert werden können. In BITDs dürfen Instrumente (stilisiert) auf Bildschirmen angezeigt und einfache Flugkontrollen (handelsübliche USB-Eingabegeräte wie Joysticks und Yokes) verbaut werden. BITDs entsprechen in etwa den Basic Aviation Training Devices (BATD) der FAA, insofern sie nur eine „akzeptable“ Cockpit-Konfiguration haben müssen [Mo15].

Ob eine jeweils spezifische Kombination von Hard- und Software in eine der Kategorien

FFS, FTD, FNTP und BITD fällt, also als FSTD zu bezeichnen ist, wird in der Regel durch Zertifizierung des jeweiligen Setups bestimmt. Andere Geräte, die zum Training verwendet werden, aber nicht als FSTD zertifiziert sind, bezeichnet die EASA als *OTD (Other Training Device)*. Für OTDs ist keine Cockpit- oder Flight-Deck-Umgebung nötig.

Die typischen Desktop-Simulatoren, wie sie im Heimbetrieb verwendet werden (Microsoft Flight Simulator, X-Plane, Prepar3D), sind auch dann, wenn sie für Training genutzt werden, der Kategorie OTD zuzurechnen, weil in der Regel die geforderte Cockpit- oder Flight-Deck-Umgebung fehlt, oder, sofern diese vorhanden ist, meist nicht zertifiziert ist. Damit ist nichts über einen möglichen nützlichen Trainingseffekt gesagt (Navigationsverfahren etwa lassen sich sehr gut am heimischen PC erlernen), aber doch über die rechtssichere Anrechenbarkeit von mit dem OTD verbrachten Trainingsstunden für die Pilotenausbildung.

4 Szenarien für VR-basierte FSTD

Der besondere Reiz VR-basierter Flugsimulation liegt darin, dass mit geringem technischen Aufwand Anforderungen der oben genannten Kategorien erreicht werden können, mit der entsprechenden Software ggf. bis hin zur FTD-Kategorie. Dahinter steckt die Idee, dass mit VR-Technik keine kostenintensive, ortsgebundene Nachbildung eines Cockpits oder Flight Decks mittels Hardware nötig wäre, sondern dass durch die Darstellung des Cockpits als VR-Umgebung eine mobile Simulationsumgebung geschaffen würde, die Trainingseffekte erlaubte, deren Transfer auf echte Situationen mindestens genauso gut möglich wäre wie bei bisher üblichen FTDs. Würde dies gelingen, könnten gerade kleine Flugschulen und Vereine im Privat- und Hobbybereich von effektiven und gleichzeitig kostengünstigen FSTDs profitieren. Das oft nur in geringen Stückzahlen vorhandene fliegende Material könnte geschont werden (es ist bekannt, dass gerade im Ausbildungsbetrieb überdurchschnittliche Belastungen auftreten). Praktische Aspekte der Ausbildung wären auch dann durchführbar, wenn kein fliegendes Material verfügbar ist oder aufgrund Witterungsbedingungen nicht geflogen werden kann. Damit könnte die Ausbildung selbst effizienter durchgeführt sowie in der Ausbildung ein Standard erreicht werden, der so bisher nur bei der Ausbildung zu Berufspiloten existiert. Die nötigen, entsprechend tief simulierten Nachbildungen von Flugzeugmustern sind seit Jahren vorhanden; teilweise sind sie so detailliert, dass selbst Notverfahren bei Systemausfällen anhand realer Handbücher und Checklisten abgearbeitet werden können. Damit aber so ein VR-basiertes Desktop-FSTD transferfähige Trainingseffekte zeitigt und so langfristig auch durch EASA und FAA zertifizierbar wäre, sind bestimmte Anforderungen hinsichtlich Wahrnehmung der simulierten Flugsituationen und der Interaktion mit Simulator-Software und simuliertem Flugzeug oder Luftsportgerät zu erfüllen. Dabei sind mindestens zwei typische Szenarien zu unterscheiden.

4.1 Szenario 1: VFR-Flugtraining

Dieses Szenario betrifft das Fliegen als solches und die Orientierung mit dem Flugzeug im Raum. Bei einer Platzrunde sind teils sekundenschnelle Handgriffe im Cockpit nötig, bei gleichzeitiger ständiger und präziser Kontrolle des Flugzeugs selbst. Bei Platzrunde und Überlandflug sind zudem die Orientierung anhand markanter Landschaftsmerkmale sowie das schnelle Identifizieren anderen Luftverkehrs notwendig. Der Fokus eines Nutzers virtueller VFR-Szenarien richtet sich also nach draußen, Instrumente sind oft nur wenige und in geringer Komplexität vorhanden und werden nur kurz fokussiert.

Herausforderungen:

- (1) Da der Trainingseffekt von Flugsimulationen mit steigender visueller Darstellungsqualität zunimmt [Wa15], sind eine hohe Grafikauflösung und hohe Qualität der 3D-Modelle und Texturen wichtig. Wegen der häufigen Änderung der Blickrichtung zur Orientierung ist das Erreichen einer hohen Bildrate kritisch, um Motion Sickness zu vermeiden. Die Herausforderung besteht darin, dass sich beide Anforderungen widersprechen: Höhere visuelle Qualität geht mit schlechterer Performanz einher; schon bei einem normalen Desktop-Setup mit einem Monitor sind zeitweise (und besonders in den kritischen Phasen Start und Landung) niedrige Bildraten zwischen 15 und 30 FPS normal, was für VR nicht ausreichend ist.
- (2) Während des Fluges sind die Hände in der Regel dauerhaft an Steuerhorn oder Joystick; häufig werden auch Hebel für Schub, Propellereinstellung und Treibstoffgemisch bedient. Typische Consumer-VR-Systeme sehen jedoch vor, dass die Hände spezielle VR-Controller bedienen. Beide Interface-Ansätze müssen vereint werden, um eine schnelle und sichere Bedienung zu ermöglichen.
- (3) Wie bei FSTDs ohne eigene Bewegungsplattform unterliegt der Körper der Nutzer von VR-Systemen keiner extern zugeführten Bewegung. Damit sind körperliche Aspekte der Wahrnehmung auf die taktile Wahrnehmung der Hardware des VR-Systems (Headset, Controller u.ä.) sowie auf visuelle und auditive Daten der Simulation beschränkt. Dennoch sind durch das Präsenzerleben von VR-Systemen leibliche Bewegungswahrnehmungen möglich [Do16b]. Die Herausforderung besteht darin, die visuell-auditiven Daten der Simulation mit den leiblichen Wahrnehmungen möglichst synchron und transferfähig zu halten.

Thesen für Empfehlungen:

- (1) Welt und Cockpit sollten so naturgetreu wie nötig (Transfer von Wissen und Kompetenzen), aber so performant (Darstellung) wie möglich sein. Neben optimierten 3D-Objekten (geringe Vertex- und Meshanzahl) empfehlen wir, die Darstellung auf markante Elemente zu fokussieren (bei der Landschaft z.B. Pflichtmeldepunkte und markante Landmarken wie Straßen, Flüsse, Seen, Windräder, usw.) und unwesentliche Elemente zu abstrahieren oder auszublenden. Was ‚wesentlich‘ ist, ist je nach simulierter Region unterschiedlich; um hier möglichst

flexibel zu sein, sollte die Simulatorsoftware einfaches Editieren von Szenarien erlauben (z.B. X-Plane 11).

- (2) Das Steuern des Flugzeugs sollte mit Hardware erfolgen, die der echten möglichst ähnlich und körperlich greifbar ist, um den Widerstand der Steuerkräfte zumindest ansatzweise zu spüren. Sinnvoll erscheint uns daher prinzipiell eine Kombination von Steuerhorn oder Joystick mit Leap Motion Controllern. Letztere werden am genutzten VR-Headset befestigt und erfassen Bewegungen der Hände, wenn diese nicht am Steuerhorn/Joystick sind. Dadurch kann man im Cockpit Knöpfe, Drehregler, Hebel und andere Bedienelemente mit einer virtuellen Hand ‚berühren‘ (vgl. dazu [ADP15]). Ein Nachteil von Leap Motion ist neben einer gewissen Unzuverlässigkeit das Fehlen taktilen Feedbacks bei der Berührung von Knöpfen und Schaltern; man deutet gleichsam mit den Fingern in die Luft und erhält Rückmeldung über die erfolgte Bedienung nur visuell und auditiv von der Simulatorsoftware.
- (3) Leibliche Wahrnehmungen lassen sich kaum aktiv steuern oder herstellen, da sie subjektiv unterschiedlich sind. Sie emergieren eher aus den in (1) und (2) genannten Aspekten. Durch fortlaufende Evaluation im Entwicklungsprozess (etwa mit Verfahren ‚lauten Denkens‘) können jedoch Anhaltspunkte für das Vorhandensein leiblicher Wahrnehmungen bei Testnutzern gewonnen werden, was die weitere Entwicklung danach zu verstärken versuchen kann.

4.2 Szenario 2: IFR-Instrumententraining

Beim IFR-Training geht es darum, unter Instrument Flight Rules (Instrumentenflugbedingungen) die Bedienung und das korrekte Ablesen von Instrumenten zu erlernen. Dies entspricht den FSDT-Kategorien BITD und FNTP. Man liest Instrumente zur Fluglage ab und steuert das Flugzeug danach (anstatt nach Landschaftsmerkmalen). Daneben stellt mit den Fingern Funkfrequenzen ein, tippt Namen von Wegpunkten ins GPS oder wählt bestimmte Prozeduren (z.B. Anflugverfahren) aus dem Menü einer komplexen Benutzeroberfläche.

Herausforderungen:

- (1) Genauso wie im VFR-Szenario ist auch im IFR-Szenario das Verhältnis von visueller Darstellungsqualität und Performanz zu beachten. Insbesondere eine für höhere Bildraten gewählte niedrigere Qualität kann starke negative Auswirkungen auf die Wahrnehmbarkeit von Flugzeugsystemen haben. Die angezeigten Werte auf Cockpitinstrumenten und Bildschirmen sowie die Beschriftungen von Knöpfen und Schaltern sind in einer Desktop-Simulation ohnehin schwieriger zu lesen als im echten Flugzeug; die weitere Reduzierung von Sichtfeld und Auflösung verschlimmert diese Herausforderung teils bis zur Unlesbarkeit.
- (2) Zu einer präzisen und sicheren Bedienung von Instrumenten und Kommunikations- und Navigationsgeräten ist haptisches Feedback hilfreich. Am normalen PC erhält

man dies zumindest durch die Rückmeldung der Eingabehardware (Mausklicks, Tastendrucke); in einer VR-Umgebung entfällt dieses Feedback je nach Eingabehardware womöglich ganz. Eingabefehler können die Folge sein.

- (3) Ein Phänomen echter IFR-Situationen ist der sehr schnelle Orientierungsverlust, wenn es keine unterstützenden Instrumente gibt. Nach nur 45 Sekunden in einer geschlossenen Wolke kann man nicht mehr sagen, wo man sich befindet und wie die eigene Fluglage im Raum ist. Körperliche und leibliche Wahrnehmungen können in so einer Situation widersprüchlich und ‚falsch‘ sein. Die Herausforderung besteht darin, solche Effekte unter VR-Bedingungen zu simulieren, obwohl die Nutzer stationär sind.

Thesen für Empfehlungen:

- (1) Da in IFR-Situationen die Landschaft ohnehin schlecht oder gar nicht zu erkennen ist und bei echten IFR-Trainings die Sicht der Piloten künstlich eingeschränkt wird, kann die Darstellung virtueller Landschaft unterbleiben. Dadurch werden Ressourcen frei, die einer Verbesserung von Auflösung und Bildrate zugute kommen können. Der Herausforderung schlechter Lesbarkeit von Instrumenten wird meist durch Popup-Fenster begegnet, d.h. man klickt das jeweilige Instrument oder den jeweiligen Bildschirm im Cockpit an, um eine vergrößerte Darstellung desselben anzuzeigen. In der 3D-Umgebung eines VR-Raums haben Popup-Fenster jedoch den Nachteil, die Wahrnehmung von Präsenz zu unterbrechen, da sie als Fläche gleichsam außerhalb des simulierten Raums erscheinen. Besser eignen sich 3D-Objekte, die sich ‚herauslösen‘ und sich im Raum bewegen lassen.
- (2) Ein VR-Controller, der taktiles Feedback erlaubt, ist der HTC Vive Controller. ‚Berührt‘ man damit ein Cockpitlement, z.B. einen Drehknopf oder einen Schalter, kann eine taktile Rückmeldung generiert werden, die zwar nicht dem echten Gefühl bei Betätigung eines Schalters im Cockpit entspricht, aber zumindest Sicherheit über die erfolgte Eingabe bietet, sodass sich die Nutzer auf das simulierte System und nicht den Simulator fokussieren können. Ein Nachteil des Vive Controllers ist, dass man sie für die Bedienung dauerhaft in der Hand halten muss. Damit sind die Hände nicht frei zur Bedienung weiterer Hardware (Steuerhorn/Joystick; Hebel für Schub/Propeller/Gemisch).
- (3) Das grundsätzliche Gefühl von Orientierungsverlust kann erzeugt werden, indem man die Simulation nicht direkt IFR startet, sondern die Nutzer zunächst aus VFR-Bedingungen in IFR-Bedingungen einfliegen lässt. Diese These geht davon aus, dass die VFR-Situationen einen Referenzpunkt hinsichtlich räumlicher Lage und Bewegungswahrnehmung bietet, vor deren Hintergrund sich das Gefühl von Orientierungsverlust entfalten und eine angemessene IFR-Situation erzeugen kann.

5 Zusammenfassung/Ausblick

Flight Simulation Training Devices (FSDT) sind Geräte, die die Ausbildung von Piloten unterstützen. Kleine Flugschulen und Vereine sind oft nicht in der Lage, FSDTs zu betreiben. Es wurde gezeigt, dass VR-Systeme zahlreiche Möglichkeiten bieten, wesentliche Eigenschaften von Flight Simulation Training Devices (FSDT) umzusetzen und dass sie damit eine mögliche Alternative für kleine Schulen und Vereine sein können. Es wurde jedoch deutlich, dass es noch Forschungs- und Optimierungsbedarf hinsichtlich der Darstellung von und Interaktion mit Cockpitsystemen gibt. Dabei sind die Herausforderungen je nach Szenario verschieden.

Die genannten Szenarien sind als Zwischenfazit unserer bisherigen Arbeit bei vFlyteAir zu VR sowie meiner individuellen Forschungsarbeit zu VR und Phänomenologie anzusehen. Die Szenarien und die darin formulierten ‚Empfehlungen‘ stellen hypothesenähnliche Ausgangspunkte dar. Konkret arbeiten wir zurzeit an der Umsetzung eines Comco-Ikarus C42 Ultraleichtflugzeugs für das erste vorgestellte Szenario (VFR). Anders als unsere bisherigen, für reine Desktop-Nutzung ausgelegten, Modelle wollen wir unser Modell der C42 für die VR-Nutzung optimieren, um damit auch unsere eigenen Annahmen zu testen.

Mittels qualitativer Methoden, insbesondere kameragestützter Beobachtung, der Thinking-Aloud-Methode [Do16a] sowie qualitativer Interviews wollen wir die Eignung unterschiedlicher Darstellungs- und Interaktionsformen für unterschiedliche Trainingsziele untersuchen und unser Modell daraufhin optimieren.⁵ Erste Ergebnisse hierzu sind Ende 2017 zu erwarten.

6 Literaturverzeichnis

- [ADP15] Aslandere, T.; Dreyer, D.; Pankratz, F.: Virtual hand-button interaction in a generic virtual reality flight simulator. IEEE Aerospace Conference Proceedings, June 2015.
- [Al10] Allerton, D.J.: The impact of flight simulation in aerospace. Aeronautical Journal -New Series-, December 2010.
- [BC98] Botvinick, M; Cohen, J.: Rubber hands 'feel' touch that eyes see. Nature 391 (19 February 1998), S. 756, 1998.
- [Do16a] Donick, M.: „Offensichtlich weigert sich Facebook, mir darauf eine Antwort zu geben“ – Strukturelle Analysen und sinnfunktionale Interpretationen zu Unsicherheit und Ordnung der Computernutzung. Hamburg, 2016.
- [Do16b] Donick, M.: Die Form des Virtuellen. Vom Leben zwischen zwei Welten, Hannover, 2016.

⁵ Neben der technischen Fragestellung bei vFlyteAir geht es in diesem Projekt auch um phänomenologische Aspekte an sich, die bei der Wahrnehmung simulierter Flugsituationen in VR-Umgebungen relevant sind.

- [EA15] European Aviation Safety Agency: Certification Specifications for Aeroplane Flight Simulators Training Devices / CS-FSTD(A). Initial issue, 4 July 2012.
- [ED04] EDUVEK (Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation): Schlussbericht des Büros für Flugunfalluntersuchungen über den Unfall des Flugzeuges Saab 340B, HB-AKK, betrieben durch Crossair unter Flugnummer CRX 498, vom 10. Januar 2000 bei Nassenwil/ZH. 2004.
- [Fu17] Fuchs, T.: Die Koextension von Leib und Körper. Von Phantomgliedern, Gummihänden und anderen Rätseln. In (Volke, S; Kluck, S. Hrsg.): Körperskandale. Zum Konzept der gespürten Leiblichkeit. Verlag Karl Alber, Freiburg/München, S. 96-115, 2017.
- [Ha92] Hays, R.T.; Jacobs, J.W.; Prince, C.; Salas, E.: Flight simulator training effectiveness: A meta-analysis. In: *Military Psychology*, Vol 4(2), S. 63-74, 1992.
- [KRB16] Koglbauer, I; Riesel, M.; Braunstingl, R.: Positive Effects of Combined Aircraft and Simulator Training on the Acquisition of Visual Flight Skills. *Cognition, Brain, Behavior*, Vol. 20, Issue 5, S. 309-318, 2016.
- [Mo15] Moore, S.: Training Device Types, Use and Credit, DPE Meeting, Federal Aviation Administration, 2015.
- [Mü01] Mühlberger, A.; Hermann, M. J.; Wiedemann, G.; Ellgring, H.; Pauli, P.: Repeated exposure of flight phobics to flights in virtual reality. *Behavior Research and Therapy* Vol. 39, Issue 9, September 2001, S. 1033-1050, 2001.
- [Ob15] Oberhauser, M.; Dreyer, D.; Mamessier, S.; Convard, T.; Bandow, D.; Hillebrand, A: Bridging the Gap Between Desktop Research and Full Flight Simulators for Human Factors Research. In: 12th International Conference, EPCE 2015, Held as Part of HCI International 2015, Los Angeles, 2015.
- [Ob16] Oberhauser, M.; Dreyer, D.; Convard, T.; Mamessier, S.: Rapid Integration and Evaluation of Functional HMI Components in a Virtual Reality Aircraft Cockpit. In (Rebelo, F; Soares, M., Hrsg.): *Advances in Ergonomics in Design*, S. 17-24, 2016.
- [Sc11] Schmitz, H.: *Der Leib*. De Gruyter, Berlin/Boston, 2011.
- [Ts10] Tsakiris, M.; Carpenter, L.; James, D.; Fotopoulou, A.; Hands only illusion: multisensory integration elicits sense of ownership for body parts but not for non-corporeal objects. *Experimental Brain Research*, July 2010, Volume 204, S. 343-352.
- [VCJ16] Valentino, K.; Christian, K.; Joeliyanto, E.: Virtual Reality Flight Simulator. *Internetworking Indonesia Journal* Vol. 9/No. 1 (2017), S. 21-25, 2017.
- [Wa15] Walker, D.: The Impact of Training Context on Performance in Simulator-Based Aviation Training. *MODSIM World 2015*, Paper No. 11, 2015, www.modsimworld.org/conference-papers/2015 , Stand: 16.07.2017
- [WS98] Witmer, B.G.; Singer, M.J.: Measuring Presence in Virtual Environment: A Presence Questionnaire. *Presence*, Vol. 7, No. 3, June 1998, S. 225-240, 1998.
- [Za07] Zahavi, D.: *Phänomenologie für Einsteiger*. Wilhelm-Fink-Verlag, Paderborn, 2007.