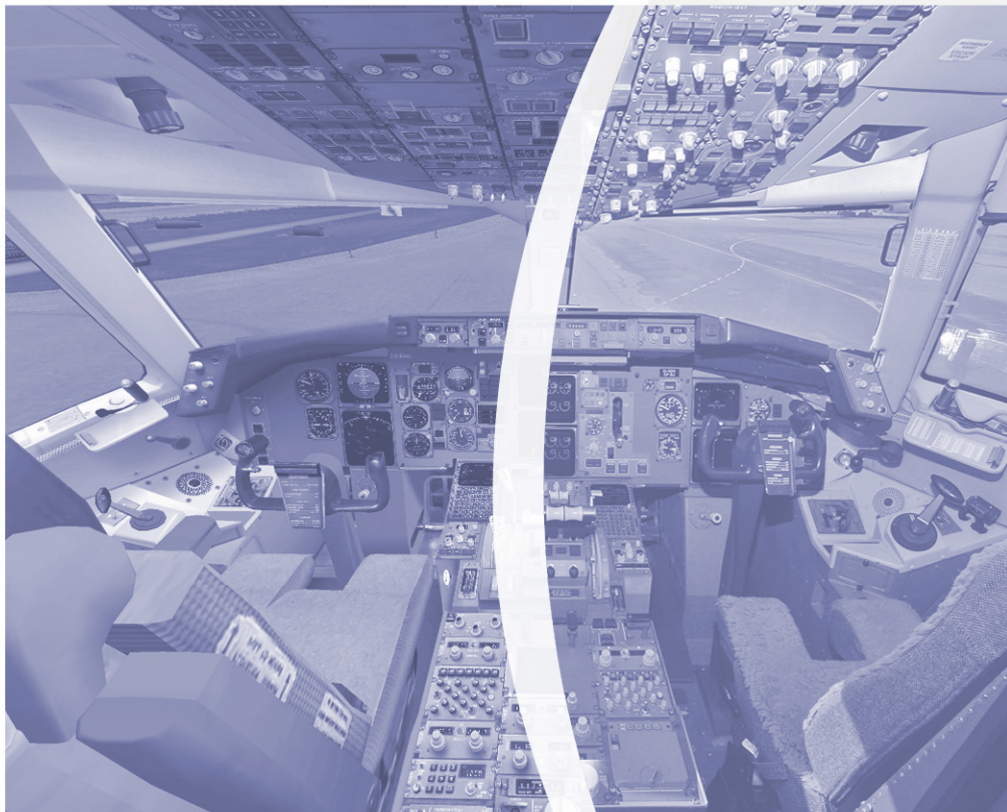


Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).



# Didaktische Aspekte beim Pilotentraining mittels Flugsimulations-Software aus der Unterhaltungsindustrie



Christian Nagl  
0025766  
Informatikmanagement

Betreuung: Univ.-Prof. Dr.Ing. Gerhard H. Schildt  
Eingereicht: Oktober 2008



FAKULTÄT FÜR **INFORMATIK**

# Didaktische Aspekte beim Pilotentraining mittels Flugsimulations-Software aus der Unterhaltungsindustrie

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

**Magister der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften**

im Rahmen des Studiums

**Informatikmanagement**

eingereicht von

**Christian Nagl**

Matrikelnummer 0025766

an der  
Fakultät für Informatik der Technischen Universität Wien

Betreuung:

Betreuer: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Ing. Ing.(grad) Gerhard-Helge Schildt

Wien, 02.12.2008

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift Verfasser)

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift Betreuer)

# Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere,

- dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig verfasst, keine andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin / einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Datum

Christian Nagl

# Inhalt

<b>ABSTRACT</b> .....	<b>5</b>
<b>VORWORT</b> .....	<b>6</b>
<b>ABSCHNITT I</b> .....	<b>10</b>
<b>1</b> <b>PROFESSIONELLE FLUGSIMULATOREN ALS TRAININGSGERÄTE</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b> <b>MEILENSTEINE DER ENTWICKLUNG VON FLUGSIMULATOREN</b> .....	<b>15</b>
<b>3</b> <b>LEHRZIELE EINES SIMULATORS</b> .....	<b>18</b>
<b>4</b> <b>ANFORDERUNGEN AN EINEN SIMULATOR</b> .....	<b>20</b>
<b>5</b> <b>DIE TECHNIK</b> .....	<b>21</b>
5.1    HOST COMPUTER.....	21
5.2    IO-HARDWARE - DIE PILOTENSCHNITTSTELLE.....	22
5.3    SICHTSYSTEM.....	24
5.4    AUDIO-SYSTEM.....	26
5.5    BEWEGUNGS-SYSTEM .....	26
5.6    IOS (INSTRUCTOR OPERATING STATION).....	28
<b>6</b> <b>KATEGORISIERUNG/TERMINOLOGIE DER TRAININGSGERÄTE</b> .....	<b>30</b>
6.1    FULL FLIGHT SIMULATOR (FFS) .....	30
6.2    FLIGHT TRAINING DEVICE (FTD).....	31
6.2.1 <i>Fixed Simulator</i> .....	31
6.2.2 <i>Instrument Based Simulator</i> .....	32
6.3    PC-BASED SIMULATOR.....	33
6.3.1 <i>Von den Luftfahrtautoritäten zugelassene Trainer - PCATD's</i> .....	33
6.3.2 <i>Sonstige Computer-Based Training Devices</i> .....	34
6.3.3 <i>Flugsimulationen aus der Unterhaltungsindustrie (PC-EFS)</i> .....	34
<b>7</b> <b>WANN IST EIN SIMULATOR PROFESSIONELL - DIE ZERTIFIZIERUNG</b> .....	<b>35</b>
7.1    DIE ZERTIFIZIERUNG BEI DER JAA/EASA:.....	37
7.2    DIE ZERTIFIZIERUNG BEI DER FAA: .....	38
<b>ABSCHNITT II</b> .....	<b>39</b>
<b>1</b> <b>FLUGSIMULATOREN AUF PC-BASIS</b> .....	<b>40</b>
1.1    PROFESSIONELLE TRAININGS-SOFTWARE - PCATD'S .....	40
1.2    NICHT-ZERTIFIZIERTE COMPUTER-BASIERENDE TRAINER .....	43
1.3    ZIVILE FLUGSIMULATOREN AUS DER UNTERHALTUNGSINDUSTRIE - EIN ÜBERBLICK .....	44
1.3.1 <i>ProPilot (Sierra) 1997-1999</i> .....	44
1.3.2 <i>Fly! (Terminal Reality) 1999-2002</i> .....	45
1.3.3 <i>Flight Unlimited I, II und III (LookingGlass, Eidos) 1995-1999</i> .....	45
1.3.4 <i>X-Plane (Laminar Research) ~1989 - Jetzt</i> .....	45



1.3.5	<i>Flight Gear - 1998 - Jetzt</i> .....	46
1.3.6	<i>Flight Simulator (Microsoft) 1980 - Jetzt</i> .....	46
<b>2</b>	<b>DER MICROSOFT FLIGHT SIMULATOR</b> .....	<b>47</b>
2.1	GESCHICHTE DES MS FLIGHT SIMULATORS .....	48
<b>3</b>	<b>DIE ERWEITERBARKEIT DES MS FLIGHT SIMULATORS</b> .....	<b>54</b>
<b>4</b>	<b>DIDAKTISCHE ANFORDERUNGEN FÜR SINNVOLLES PILOTENTRAINING</b> .....	<b>57</b>
<b>5</b>	<b>EVALUIERUNG DES MICROSOFT FLIGHT SIMULATORS</b> .....	<b>61</b>
5.1	PC-EFS ALS ERSATZ FÜR DIE FLUGSCHULE BEIM LERNEN DER "BASIC-FLYING-SKILLS" ..	61
5.1.1	<i>Die mangelnde Genauigkeit der Steuereingaben</i> .....	61
5.1.2	<i>Die Umsetzung des Flugmodells im Simulator</i> .....	64
5.1.3	<i>Mangelnde Empfindung der Bewegung im Raum</i> .....	66
5.1.4	<i>Mangelnde visuelle Bezugspunkte</i> .....	66
5.2	PC-EFS ALS TRAININGSHILFE BEI INSTRUMENTENFLUG-MANÖVERN.....	68
5.2.1	<i>Trainings-Szenario - VOR-Navigation:</i> .....	73
5.3	PC-EFS IM EINSATZ ALS PCATD .....	80
5.4	PC-EFS ALS EINFÜHRUNG IN DIE BASISKONZEPTE DES FLIEGENS .....	82
5.5	PC-EFS ALS LERNERGÄNZUNG WÄHREND DER GRUND-AUSBILDUNG.....	83
5.6	PC-EFS ALS TRAININGSMITTEL BEIM FLIEGEN NACH SICHT (VFR-TRAINING).....	84
5.7	PC-EFS ALS TRAINER FÜR HANDLUNGSABLÄUFE IM COCKPIT UND CRM-KONZEPTE .....	90
5.7.1	<i>Fallbeispiel 1: Starten des APU's</i> .....	96
5.7.2	<i>Fallbeispiel 2: Start eines Triebwerks</i> .....	98
5.7.3	<i>Fallbeispiel 3: Triebwerksausfall im Flug</i> .....	101
5.8	PC-EFS ALS DIDAKTISCHES MITTEL FÜR LEHRKRÄFTE BEI DER FLUGSCHULUNG .....	109
5.9	PC-EFS ALS BESTANDTEIL EINES ZERTIFIZIERTEN FLIGHT TRAINING DEVICES .....	111
5.9.1	<i>Der Microsoft Flight Simulator als Simulation von System-Logik einzelner Luftfahrzeugsysteme:</i> .....	113
5.9.2	<i>Der Microsoft Flight Simulator als Sichtsystem</i> .....	114
5.10	SCHLUSSFOLGERUNGEN .....	118
<b>6</b>	<b>DER PC-EFS IM EINSATZ IN „HOMEBUILD“ - SIMULATOREN. EIN AUSBLICK...</b> <b>122</b>	
	<b>ANHANG</b> .....	<b>134</b>
	<b>DANKSAGUNG</b> .....	<b>134</b>
	<b>ABKÜRZUNGEN</b> .....	<b>135</b>
	<b>INDEX</b> .....	<b>136</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>139</b>
	<b>QUELLENVERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN</b> .....	<b>143</b>

## **Abstract**

Grenzfall PC Flugsimulatoren - Nur ein Spiel oder ernst zunehmende Werkzeuge fürs professionelle Pilotentraining ?

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der viel diskutierten und heftig umstrittenen Frage, ob es möglich ist, dass eine aus der PC-Spiele-Industrie stammende Software als Basis für Pilotentraining dienen könnte. Welche didaktischen Ansätze sind zu finden und sinnvoll zu verwerten, welche Aspekte haben überhaupt keinen lerntechnischen Sinn. In wie weit vermag Software, die als Computerspiel deklariert ist, Piloten in ihrer Aus- Fort und Weiterbildung helfen? Die Ansichten der unterschiedlichen Parteien - in jeder gibt es sowohl fertig ausgebildete Piloten als auch Laien ohne Ausbildung - sind sehr polarisierend.

Als Fallbeispiel soll der fast schon legendäre Microsoft Flight Simulator dienen, der von einer sehr großen Community umworben wird und durch zahlreiche Software-Addons im Funktionsumfang erweitert werden kann. Keinem anderen Produkt aus der Spiele-Industrie wurden so viel Webseiten, 3rd-Party-Unternehmen und Web-Communities gewidmet. Es ist eines der wenigen Produkte, welches Unternehmens-Gründungen für Hardware-Addons und Software-Addons induziert hat. In den USA wurden bereits erste professionelle Flugsimulatoren, die auf Basis vom Microsoft Flight Simulator laufen, von der FAA (Federal Aviation Administration) als „seriöses“ Trainingsgerät zertifiziert.

## Vorwort

Heutzutage spielt die Luftfahrt eine nicht mehr wegzudenkende Rolle im Transportwesen. Sie ist zu einem evidenten Technologie-Merkmal der Menschheit geworden. Das anfangs noch so ehrfürchtig bestaunte Mysterium, der Schwerkraft zu trotzen, ist nun dermaßen zu einer Selbstverständlichkeit mutiert, sodass eine monatliche Beförderung von 32 Millionen Passagieren allein innerhalb Europas nur mehr am Rande des Bewussten wahrgenommen wird. Das Flugzeug ist nach wie vor - hinter dem PKW - das zweitbeliebteste Fortbewegungsmittel. Ein Linien-Pilot verbringt im Durchschnitt 90 Flugstunden pro Monat im Cockpit. Bei diesen Zahlen ist es nur allzu selbstverständlich, dass Airlines eine qualitativ hochwertige Ausbildung ihrer Piloten voraussetzen. Besonders das Trainieren im Simulator leistet in der Aus- und Weiterbildung eines Linien-Piloten einen großen Beitrag zur Beherrschung der komplexen Systeme eines Luftfahrzeugs.

*„Training ... im Simulator erhöht die Flugsicherheit statistisch um den Faktor 45“<sup>1</sup>*

Analog dazu entwickelten sich Mitte der 80er Jahre die ersten Flugsimulations-Programme für Heim-PC's. Diese „Spiele“ dienten für viele Flugbegeisterte als Basis, ihren oft illusorischen Wunschtraum vom Pilotenberuf zumindest in Teilaspekten virtuell zu erleben. Das ist wahrscheinlich auch der Grund, warum sich gerade dieses Spielgenre so hoher Beliebtheit erfreut, sodass sich zahlreiche Communities, kostenpflichtige und freie Zusatzprogramme, Magazine, Webseiten um dieses Thema tummeln. Denn - anders als bei sonstigen PC-Spiele-Produkten aus der Unterhaltungsindustrie - besteht bei den beliebtesten Vertretern ziviler Flugsimulatoren die Möglichkeit, das Basis-Programm durch Zusatzprogramme - so genannte Addons - zu erweitern. Dabei zeichnet sich bei den besagten Programmiererweiterungen meist das Bestreben ab, den Flugsimulator so zu ergänzen, dass das virtuelle Flugerlebnis noch „realitätsnäher“ erscheint.

---

<sup>1</sup> Jäger, Markus (2003).

Diese Addons - sowohl käuflich erwerbbar, als auch in Form von Freeware über das Internet beziehbar - können den Simulator um zusätzliche Landschaftsdarstellungen (Szenerien) erweitern oder bieten beispielsweise neue Flugzeugtypen zum Fliegen an. Das Spektrum der „Qualitäts-Güte“ derartiger Addons ist dabei weit gestreut. Je nach Zeitpunkt des Erscheinens und des Preises gibt es sowohl solche, die den Schwerpunkt ausschließlich auf die Aufwertung des Spielspaßes gesetzt haben und keinen Anspruch auf Realitätsnähe stellen, als auch Produkte, die sich eine möglichst akkurate Reproduktion der Funktionen/Features des realen Pendant zum Ziel gesetzt haben. Die hohe Nachfrage der Simulations-User „pusht“ den Markt zu qualitativ immer höherwertigeren Angeboten. Hier ist eine enorme Dynamik in den letzten Jahren deutlich erkennbar.

Und auf einmal hört man, dass sich einige Piloten und Flugschulen der realen Branche für diese Software zu interessieren beginnen. PC-Flugsimulatoren werden getestet, von einem Teil der Piloten teilweise belächelt und weiterhin zum Spiel „disqualifiziert“, von einem anderen Teil aber als durchaus potentiell Ausbildungsinstrument eingeschätzt. Nach diesbezüglicher Befragungen geben viele der Studenten, Piloten und auch Ausbilder an, den Microsoft Flight Simulator während ihrer Flugkarriere verwendet zu haben.

Als offensichtliche Bestätigung dieser Einschätzung, beginnt die amerikanische „Federal Aviation Administration“ (kurz: FAA) diverse Procedure Trainer und Simulatoren (AATD's), die auf Basis eines PC-Flugsimulations-Spieles funktionieren, als offizielles Piloten-Trainings-Gerät zuzulassen.<sup>2</sup>

Bedauerlicherweise geriet das Thema Trainingspotential eines PC-Flight-Simulators - auch unter anderem durch die Anschläge am 11. September 2001 in den Fokus der Medien und der Öffentlichkeit (wenn auch hier in einem sehr traurigen Zusammenhang) und sorgte für eine Reihe kontroverser Diskussionen. Vermutungen, dass sich Terroristen damals mit Produkten, wie den Microsoft Flight Simulator und dem Simulator-Addons „767 PIC“ auf die

---

<sup>2</sup> vgl. Precision Flight Controls (2007).

geplanten Anschläge vorbereiteten, konnten weder zur Gänze bestätigt noch komplett ausgeschlossen werden.

Dürfen somit Heimcomputer-Flugsimulatoren aus dem Unterhaltungsbereich den Anspruch erheben, mehr als nur ein Computer-Spiel zu sein ?

Die Behauptung, dass beim Genre Flugsimulation die Grenzen zwischen Unterhaltung und ernsthaftem Training zunehmend zu verschwinden scheinen, möchte der Autor zum Kernpunkt dieser Masterarbeit machen.

Nachdem es zwischen einem professionellen Level-D Full-Flight-Simulator und Simulations-Spielen durchaus auch (semi-)professionelle Bindeglieder gibt, widmet sich der Autor zuerst einer überblicksmäßigen Vorstellung der einzelnen Simulations-Kategorien und der Bezeichnung/Terminologie der Typen - abgestuft nach Professionalität, Funktionsumfang und Anwendungsgebiet.

Im Anschluss möchte der Autor anhand eines konkreten Fallbeispiels untersuchen, ob ein Flugsimulator-Programm für Heim-PC's einen didaktischen Mehrwert fürs Pilotentraining besitzt. Als Studienobjekt soll dafür das populäre Programm „Flight Simulator“ von Microsoft™ dienen. Auf dessen Basis sollen ein paar ausgewählte Software Addons evaluiert und auf ihr didaktisches Potential überprüft werden. Besonderes Augenmerk richtet sich dabei unter anderem auf das Produkt „Level-D 767-300“ - eines der bislang umfangreichsten und komplexesten Produkte des Microsoft Flight Simulators 2004.

Im Internet kursieren Foren, in denen Hobby-Flugsimulations-Enthusiasten hitzige Diskussionen mit realen Airline-Piloten führen. Meist geht es um die Streitfrage, ob der MS Flight Simulator als Substitut für eine reale Ausbildung funktioniert. Sogar Hypothesen wie „Piloten bekommen im Flug eine Fischvergiftung - ich mit PC-Simulator-Erfahrung führe den Flug zu Ende...“ werden debattiert (und meist auch erfolgreich widerlegt). Der Autor konnte sich aus diesen Foren einen wertvollen Überblick über die „Für's“ und „Wider's“ verschaffen. Ergänzend unterstützt durch Berichte und Interviews mit echten und virtuellen Piloten, möchte der Autor als Ergebnis die Pro- und Kontra-Argumente gegenüberstellen.

Abschließend soll ein kleiner Ausblick aufzeigen, in welchen unterschiedlichen Einsatzgebieten der Microsoft Flugsimulator nutzbar ist. Hierbei gilt das Hauptaugenmerk der Kombination der Software mit spezifischer Hardware und die daraus entstehende Möglichkeit, einen kompletten Heimflugsimulator (inklusive Kontrollen, Cockpitmockups, Instrumentierung) zu entwerfen. Einige PC-Flugsimulations-Enthusiasten entwickeln hier erstaunlich kreative und bis ins Detail durchdachte Lösungen, die sich oft - zumindest optisch - nicht hinter professionellen Full-Flight-Simulatoren verstecken müssen. Auch hier war der Autor zu einer Reflexion motiviert, inwieweit so ein, von Amateuren erstelltes Trainingsgerät für echte Ausbildungszwecke geeignet ist, bzw. ob sich ein solches Heimprojekt jemals mit professionellen Trainingsmaschinen, wie solche, die auch Luftlinien, wie „Austrian Airlines“ oder „Lufthansa“ verwenden, „messen“ könnte. Mit dieser Arbeit möchte der neugierige Autor dieser Frage nachgehen.

## ABSCHNITT I

### 1 Professionelle Flugsimulatoren als Trainingsgeräte

Dieses Kapitel soll einen Überblick über solche Flugsimulatoren verschaffen, die als professionelles Trainingswerkzeug beim Pilotentraining eingesetzt werden. Dabei sollen u.a. die Aufgabenbereiche und Lehrziele beim Training mit Simulatoren erwähnt werden. Weiters soll ein geschichtlicher Überblick das Nachvollziehen der technologischen Entwicklung von Simulatoren ermöglichen. Zu guter letzt möchte der Autor einen Einblick in die verwendeten Technologien geben, die als Komponenten, bei einem professionellen Simulator Verwendung finden.

Seit der Mensch Maschinen zu seiner Fortbewegung baut, war auch das Bestreben evident, genaue Prognosen über sämtliche (zukünftige) Verhaltensweisen im Betrieb stellen zu können. Zusätzlich wollte man nicht nur sämtliche (Re-) Aktionsverhalten der Maschinen oder einer ihrer Subkomponenten testen, sondern auch das Verhalten des Menschen studieren, der sie bedient. Jonathan Gabbai definiert Simulation in seinem 2001 verfassten Artikel folgendermaßen:

*“Simulation is a means of replicating an environment and specific conditions used for the testing of wares or the training of people under controlled and monitored conditions”<sup>3</sup>*

Prinzipiell versucht ein Flugsimulator die Erfahrung, ein echtes Luftfahrzeug zu fliegen, möglichst realitätsnah zu imitieren.<sup>4</sup>

Wie J. Gabbai hinweist, hat ein Flugsimulator als Mensch-Maschinen-Schnittstelle die primäre Aufgabe, eine dynamische Repräsentation der Verhaltensweise eines Luftfahrzeuges zu erschaffen, mit der ein oder mehrere Menschen als Bediener interagieren können.<sup>5</sup> Im Regelfall handelt es sich dabei

---

<sup>3</sup> Gabbai, Jonathan (2001).

<sup>4</sup> vgl. Wikipedia (2008) „Flight Simulator“.

<sup>5</sup> vgl. Gabbai, Jonathan (2001).

um ein voll funktionelles Replikat des Cockpits eines Flugzeuges. Ergänzt wird ein Simulator meist durch ein System zur Darstellung der Außensicht und im Optimalfall durch Techniken zum Nachbilden der Bewegung im Raum. Ziel ist es, die menschliche Wahrnehmung sowohl im visuellen, akustischen und sensorischen Bereich durch Reize zu stimulieren, sodass ein Aufenthalt in einem Simulator nicht mehr von einem Aufenthalt in einem realen Cockpit zu unterscheiden ist. Der hohe Grad an Illusion soll nicht nur erleichtern, sich anhand der scheinbar realen Umgebung in Trainings-Szenarios zurechtzufinden, sondern hat eine entscheidende Aufgabe. Das menschliche Gehirn soll dahingehend getäuscht werden, dass es durch geschickte Stimulation bestimmte reflexive (unterbewusste) Handlungen initiiert.<sup>6</sup> Dieses bewusste Manipulieren der Sinnes-Eindrücke kann bei zwei grundlegenden Anwendungsgebieten in der Luftfahrtindustrie Verwendung finden.

- **Zu Forschungszwecken im Design- und Entwicklungsprozess neuer Luftfahrzeuge, Luftfahrzeugsysteme, oder User Interfaces.**<sup>7</sup>

Hierbei kann ein Simulator als Art Prototyp verwendet werden, um beispielsweise neue Systeme und Zubehör auszuprobieren oder deren Wirkung auf die Bediener zu testen. Folgende Anwendungsbereiche, wären hier denkbar:

- Das Studium von menschlicher Interaktion mit elektronischen Systemen zur Optimierung von Ergonomie
- Analyse der Arbeitsbelastung der Besatzungsmitglieder
- Beobachtung, wie die komplett simulierten Sinneseindrücke (Bewegung, Ton, Sicht, Haptik) Einfluss auf das Verhalten und die Leistung der Piloten haben kann.
- Untersuchung von menschlichen Verhaltensweisen zur Optimierung von Mensch-Maschinen-Schnittstellen, wie Anzeigen, Flugsteuer-Kontrollen etc.

---

<sup>6</sup> vgl. Gabbai, Jonathan: (2001).

<sup>7</sup> vgl. Gabbai, Jonathan: (2001).



So wurde bei der Entwicklung der Boeing 777 Piloten ermöglicht, das Flugzeug im Simulator zu fliegen, bevor es überhaupt gebaut wurde. Durch das daraus entstehende Feedback der Test-Piloten konnten in Folge Benutzerschnittstellen und Kontrollen noch einmal überarbeitet, optimiert und ergonomisch verfeinert werden. Ein Beispiel, dass Simulations-Industrie durchaus auch einen Einfluss auf die reale Luftfahrt-Industrie haben kann.<sup>8</sup>

- **Als Trainingsmöglichkeit für jene, die die Systeme in der Praxis bedienen müssen (Piloten, Crew, Flight Engineers)**

Das zweite Anwendungsgebiet wird im Laufe dieser Arbeit eingehender betrachtet werden.

Je nachdem, ob Simulation im Training oder zur Forschung eingesetzt wird, bietet sie sowohl im militärischen als auch im zivilen Luftfahrt-Bereich diverse Vorteile, die in der nachfolgenden Tabelle aufgezählt sind.

Im Training	Für Forschungszwecke
<b>Kostenreduktion</b>	
Erhebliche Reduktion der Ausbildungskosten, da der Betrieb von echten Flugzeugen zu Trainingszwecken viel zu kostenaufwändig wäre (Treibstoff, Flughafengebühren).	Minimierung des Risikos, das Forschungs-Budget zu überschreiten, da die zu testenden Komponenten nicht als kompletter Prototyp entworfen werden müssen.

<sup>8</sup> vgl. Gabbai, Jonathan: (2001).

<b>Zugänglichkeit</b>	
Erleichteter Zugang zum Training im Vergleich, einen realen Ausbildungsflug zu buchen.	Ermöglicht die Auswertung der Leistung des zu testenden Systems unter Miteinbezug der Menschen und Maschinen auch unter normalerweise gefährlichen externen Bedingungen. <sup>9</sup>
Uneingeschränktes Trainieren von Manövern möglich, da im realen Luftraum heutzutage oft aufgrund der großen Luftverkehrsaufhäufung gesetzliche Einschränkungen existieren.	
<b>Minimierung von Sicherheitsrisiken</b>	
Menschliches und maschinelles Fehlverhalten kann in einem sicheren Umfeld reproduziert werden, ohne dabei die Flugsicherheit zu kompromittieren. <sup>10</sup>	
Dadurch: Training von Umgang mit sicherheitskritischen Situationen erst durch Simulatoren ermöglicht. Minimierung des Gefahrenpotentials im echten Betrieb, da die Möglichkeit besteht, Verhaltensweisen der Maschine außerhalb der Norm zu erkennen und/oder vorherzusagen. In Folge können somit korrekte Reaktionen bzw. Verhaltensweisen des Betreibers erprobt werden.	Es ist sicherer, Entwicklung von kritischen Komponenten, wie beispielsweise Flug-Software zuerst im Simulator zu testen, bevor die Komponente im realen Flugzeug integriert wird
<b>Umwelt/Ökologie</b>	
Das Training ist in Zeiten ständig wachsenden Verkehrsaufkommens in einer virtuellen Umgebung - aus Sicht von Umwelt und ökologischen Gründen - effizienter.	Das Testen von Komponenten in einer virtuellen oder halb-virtuellen Umgebung ist aus Sicht von Umwelt und ökologischen Gründen vertretbarer.

Tabelle 1 Vorteile von Flugsimulatoren

<sup>9</sup> vgl. Gabbai, Jonathan: (2001).<sup>10</sup> vgl. Gabbai, Jonathan: (2001).

In jedem Fall bringt Simulation beim Training den entscheidenden Vorteil, besser trainierte und kompetentere Crew-Mitglieder zu erhalten. Natürlich spielt das Thema auch in der militärischen Luftfahrt eine entscheidende Rolle. Allerdings gelten hier größtenteils andere Normen, Richtlinien, Grenzen und vor allem didaktische Schwerpunkte. Während Simulatoren für zivile Luftfahrt oft an wesentlich strengeren Vorgaben seitens der Luftfahrtbehörden gebunden sind, verwendet das Militär für das Training mit Simulatoren oft sogar komplett eigene Richtlinien, die meist nicht international standardisiert sind. So ist es hier schwierig, sich an didaktischen Referenzpunkten zu orientieren. Deswegen soll der Schwerpunkt dieser Arbeit eher auf dem zivilen Bereich liegen - der Autor bittet hier um Verständnis.

## 2 Meilensteine der Entwicklung von Flugsimulatoren

Wie in vielen anderen Technologien, wurde die Entwicklung von Simulatoren zu Beginn stark durch das Militär angetrieben und motiviert. So war der erste und der zweite Weltkrieg unter anderem auch maßgebend für den beachtlichen Impetus in der Erfindung und innovativen Entwicklung von Flugübungs-Maschinen. Dieses Kapitel soll einen Überblick über die wesentlichen historischen Eckdaten der Entwicklung von Flugsimulatoren schaffen.

**1910** In Amerika wird erstmals mit einer Vorrichtung experimentiert, die es einem Piloten ermöglicht, verschiedene Fluglagen (entlang der Nick- und Roll-Achse) und deren Auswirkung auf die Körperposition zu spüren. Dabei handelt es sich um eine bewegliche Plattform mit einem Pilotensitz. Die Bewegungen eines Steuerknüppels werden direkt mechanisch auf die Position der Plattform übertragen. Diese Vorrichtung wurde auch "Sanders Teacher" genannt.<sup>11</sup>

**1930** Der Erfinder Edwin Albert Link entwirft mit Hilfe von Mechanik und Pneumatikpumpen den Linktrainer. Diese Maschine mit rumpf-ähnlichem Gehäuse stellt den größten Meilenstein in der Geschichte des Simulatorbaus dar, da dieser erstmals als "seriöser" Simulator zu Trainingszwecken genutzt werden konnte. Die ersten Versionen des Trainers besaßen noch keine Repräsentationen der Instrumente und dienten ausschließlich dazu, die verschiedenen Fluglagen, die den Steuerimpulsen des Piloten folgten, zu erkunden. Nach und nach wurden Maschinen in den Linktrainer integriert, die auch das Verhalten von Cockpit-Instrumenten nachbildeten. Diese Versionen ermöglichten erstmals Piloten, u.a. Blindflugtraining (Flug nach Instrumenten) am Boden zu trainieren.<sup>12</sup>

---

<sup>11</sup> vgl. Moore, Kevin (2006).

<sup>12</sup> vgl. Wikipedia (2008) „Flugsimulator“.

- 1944** Amerika: Von der US Air Force motiviert, beginnt die Entwicklung des ersten rechnergestützten Flugsimulators. Als Computer soll "Whirlwind" dienen. Nun bietet sich die Möglichkeit, dass der Rechner aerodynamische Prinzipien und Gesetze über Auswertung von Variablen und Gleichungen berechnet. Jene Gesetze sollen dann in die Simulation aktiv miteinfließen. Whirlwind ist einer der ersten Rechner, die Echtzeitverarbeitung und einen Video-Display zur Verfügung stellen.<sup>13</sup>
- 1948** Die Simulation hält Einzug in die zivile Luftfahrt. Curtiss-Wright konstruiert den ersten Flugsimulator für die Boeing B-377 Stratocruiser. Analoge Computer dienen zur Simulation der Fluginstrumente. Dennoch gibt es zu der Zeit noch keine angemessene technische Umsetzung von Bewegungssystemen oder Sichtsystemen.<sup>14</sup>
- Mitte 50er-** Man beginnt, erste Sichtsysteme für Simulatoren zu entwickeln.  
**Jahre** Diese beschränkten sich vorerst darauf, einen rudimentären Eindruck von Außen-Sichten zu vermitteln. Dazu wird u.a. mit beweglichen Kameras experimentiert, die ein Miniatur-Landschaftsmodell filmen und das Bild auf einen Schirm im Flugsimulator übertragen. Desweiteren wird erkannt, dass analoge Computertechnologie mit den ständig wachsenden Anforderungen der Genauigkeit und Zuverlässigkeit, die an Flugsimulatoren gestellt wurden, nicht mehr mithalten kann. Mit dem Einzug der digitalen Computertechnologie sieht man nun eine Chance, diesem Engpass zu entkommen. So wird auf der Universität Pennsylvania die Maschine UDOFT (Universal Digital Operational Flight Trainer) entwickelt, die Flugdynamik mittels digitaler Computertechnik berechnen kann.<sup>15</sup>

---

<sup>13</sup> vgl. Space-Island Simulationszentrum: Die Geschichte der Simulatoren (2005).

<sup>14</sup> vgl. Wikipedia (2008) „Flugsimulator“.

<sup>15</sup> vgl. Airliners.de: Geschichte der Flugsimulatoren.

- 1960** BOAC gibt den Auftrag für Comet-4 Simulatoren, die erstmals mit einem Bewegungssystem (Simulation von Bewegungen der Nick- und Rollachse) ausgestattet sind.<sup>16</sup>
- Entwicklung der ersten Hexapoden von Steward. Es handelt sich dabei um ein pneumatisch angetriebenes Bewegungssystem, das Bewegungen eines Flugzeugs relativ realitätsnah wiedergeben kann.<sup>17</sup>
- Mitte 70er-Jahre** Durch digitale Computertechnik gelingt nun erstmals die Darstellung von komplett computergenerierten, mehrfarbigen Außengrafiken. Die General Electric Company beschäftigt sich als erstes Unternehmen mit der Generierung von Computergrafik für die Raumfahrt-Simulation. Das Sichtsystem "Computer Generated Image Visual System" (CGIVS) findet Verwendung im Simulatorbau.<sup>18</sup>
- 1972** Singer-Link entwickeln ein Sichtsystem, das mittels Kollimations-Linsen, Spiegeln und Projektoren der Außenansicht einen neuen Grad an Realismus verleiht. Das Bild bekommt Tiefe.<sup>19</sup>
- Ende 70er-Jahre** Durch eine abermalige Verbesserung der Außensicht-Systeme ist nun eine Darstellung von computergenerierten, polygonbasierten Landschaften in 3D möglich.<sup>20</sup>

---

<sup>16</sup> vgl. Airliners.de: Geschichte der Flugsimulatoren.

<sup>17</sup> vgl. Wikipedia (2008) „Flugsimulator“.

<sup>18</sup> vgl. Wikipedia (2008) „Flugsimulator“.

<sup>19</sup> vgl. Wikipedia (2008) „Flight Simulator“.

<sup>20</sup> vgl. Airliners.de: Geschichte der Flugsimulatoren.

### 3 Lehrziele eines Simulators

Abhängig vom Simulatortyp (jene werden im folgenden Kapitel noch vorgestellt) soll ein Simulator bestimmte Trainingsziele anbieten. Einige der wichtigsten Punkte sollen hier vorab erwähnt werden.

- (Rekurrente) **Übungen und Training** von Flug-Manövern und Handlungsabläufen im Cockpit. Darunter fällt auch die mentale Festigung von Standard-Verfahren bei einem Flug (wie, Instrumentenflugverfahren, Bedienung der Avionik und der Radios)

- **CRM - Training** (Cockpit Resource Management)

CRM-Training soll die Teamfähigkeit der Besatzungsmitglieder im Cockpit verbessern. Dabei werden die Piloten dahingehend geschult, intrapersonelle Kommunikationsabläufe und Arbeitsaufteilungen als Basis für effizientes Team-Work optimal und konfliktfrei durchzuführen.

- Der Umgang mit **abnormalen Flugzuständen**

Piloten werden gezielt mit Stress-Szenarios, (z. B. Notfällen) konfrontiert. Systemfehler werden dabei durch Ausbilder bewusst initiiert. Die korrekte Analyse und das Beheben des Problems soll unter Einbezug des CRM-Konzepts nach vordefinierten Prozeduren bei den Piloten mental verinnerlicht werden.

- **Gewöhnung der Piloten** an die auf den Körper wirkenden Bewegungseinflüsse, um sich intuitiv korrekte Verhaltens-Reaktionen darauf anzueignen.<sup>21</sup>
- Ausbildungsrelevante **Überprüfung**, ob ein Pilot (noch) über die erforderlichen Kenntnisse und Fähigkeiten verfügt, ein Luftfahrzeug zu führen. (Check-Rides - Prüfungsflüge)
- **Umschulung** auf andere Flugzeugmuster oder veränderte Cockpit-Konfigurationen (z.B.: neue Avionik)

---

<sup>21</sup> vgl. Gabbai, Jonathan: (2001).

Abgesehen vom ersten Punkt, der so gut wie überall implementiert ist - werden je nach Kategorie und Simulator-Typ von den oben genannten Punkten einige mehr, andere weniger betont werden.



## 4 Anforderungen an einen Simulator

Ein Simulator muss gewisse Anforderungen erfüllen, um als professioneller Flugtrainer zu gelten. Jene Anforderungen werden durch Luftfahrt-Autoritäten wie FAA oder JAA in Katalogen zusammengefasst. Dabei kommt es darauf an, welchen Verwendungszweck ein Simulator hat (siehe Kapitel 6 - Kategorisierung). Je nachdem, in welche Qualifikationsstufe der Simulator fallen soll, gelten für ihn andere Anforderungen (Näheres dazu im Kapitel 7). Einige lehrtechnische Mindest-Anforderungen gelten aber für alle Arten von Simulatoren. Diese wären:

- Die zu simulierenden Trainings-Szenarien müssen ausreichend kontrollierbar und überwachbar sein. z.B. über eine Instructor Operating Station
- Soll ein bestimmter Systemteil simuliert werden, müssen auch alle dazugehörigen Komponenten (die das System in irgendeiner Weise beeinflussen könnten) in ihrem funktionalen Verhalten vollständig abgebildet werden.
- Die Repräsentation eines simulierten Systemteils muss je nach Art in Optik, Haptik oder Verhalten so umgesetzt sein, dass Bediener das System unmissverständlich und eindeutig als solches erkennen können.
  - Maßstabsgetreue Umsetzung der Bedienungen im Größenverhältnis 1:1.<sup>22</sup>
  - Bewegungsbereich der Flugsteuerungs-Kontrollen identisch mit dem realen Pendant
- Die Abbildung des physikalischen Verhaltens der zu simulierenden Maschine (Aerodynamik, Schub-Kräfte, Luftwiderstand etc.) muss vergleichbar mit dem realen Vorbild sein.

---

<sup>22</sup> vgl. FAA AC121-14B: Aircraft Simulator Evaluation and Approval (1978).

## 5 Die Technik<sup>23</sup>

Simulatoren sowie sonstige Pilotentrainingsgeräte vereinigen üblicherweise mehrere technische Disziplinen und miteinander kooperierenden Komponenten, um eine möglichst akkurate Repräsentation eines Fluges zu ermöglichen. Teildisziplinen, wie Hardware- und Software-Entwicklung, Mensch-Maschine-Schnittstellen, Modellierung durch mathematische Systeme, sowie Computergrafik (CGI) fließen aktiv in die Entwicklung der Komponenten mit ein.<sup>23</sup> Alle Komponenten haben dabei eine gemeinsame Charakteristik - sie verarbeiten Inputs zu entsprechenden Outputs. Je nach zugrunde liegendem Typ, der Konfiguration und der Professionalität kann sich ein Simulator aus folgenden Systemen zusammensetzen:

### 5.1 Host Computer

Eine zentrale Computereinheit verbindet alle Systemkomponenten eines Simulators. Sämtliche Eingangs-Signale werden in ihm zu Ausgangs-Signalen verarbeitet, die wiederum sämtliche Teile des Simulators mit Informationen und Befehlen versorgen. Er bildet somit die gesamte Systemlogik ab.



*Abb 5.1.A Modernes Host-System eines CAE5000*

Auf ihm läuft außerdem Software, die den Kern der Simulation darstellt. Jene Software implementiert das dynamische Verhalten des zu simulierenden

---

<sup>23</sup> vgl. Gabbai, Jonathan: (2001).

Flugmodells, samt der mathematisch und physikalisch korrekten Beschreibung der Aerodynamik und der externen Einflüsse, wie Wetter-Phänomene, Umwelt, Verschleiß-Erscheinungen etc. Jene Einflüsse und deren Eigenschaften/Auswirkungen werden durch mathematisch formulierte Daten in separaten Datenbanken beschrieben. Durch die Auswertung jener Parameter unter Berücksichtigung des aktuellen Simulations-Zustandes und der logischen Interdependenzen wird das physikalische Verhalten des Flugzeugs in Echtzeit errechnet. Die Modellierung von Systemen, wie Elektrik, Treibstoff-Management, Hydraulik, Pneumatik, Navigation, Triebwerke und deren Interaktion untereinander ist auch ein zentraler Bestandteil der Simulationssoftware.

Für die schnelle Kommunikation mit Computern, die jeweils für Sub-Systeme wie Bewegung, Außensicht, Audio, Überwachungsterminals zuständig sind, wird in der Regel DMA (Direct Memory Access) verwendet.<sup>24</sup>

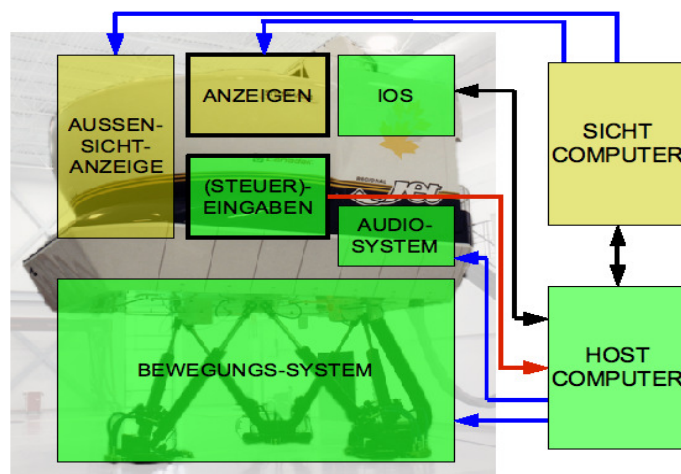


Abb 5.1.B Module eines Full Flight Simulators

## 5.2 IO-Hardware - Die Pilotenschnittstelle

Die Pilotenschnittstelle ist die Zusammenfassung aller Geräte, durch die das abstrakte Verhaltens-Modell, das vom Host Computer beschrieben wird implementiert wird.

Nachdem der Zweck eines Simulators ist, das Flugzeug in jeder Hinsicht wiederzuspiegeln, werden im simulierten Cockpit eines Full-Flight-Simulators

<sup>24</sup> vgl. Gabbai, Jonathan: (2001).

meist auch nur Originalteile des Flugzeugherstellers verbaut. Dabei geschieht es hier und da aber auch, dass die Repräsentation einer (oft technologisch überholten) Komponente durch geschickten Einsatz neuerer Technologie unterstützt (oder gar simuliert) werden muss, um deren Funktionalität zu erhöhen oder aufrecht zu erhalten. Ein gutes Beispiel dafür wäre ein digital angesteuerter Servomotor, der die Zeigerbewegung eines konventionellen Höhenmesser-Instruments ermöglicht.

Die Pilotenschnittstelle umfasst in der Regel:

- **Aufbau der Cockpithülle** (bei Full-Flight-Simulatoren oder größeren Flight-Training-Devices) im Größenverhältnis 1:1

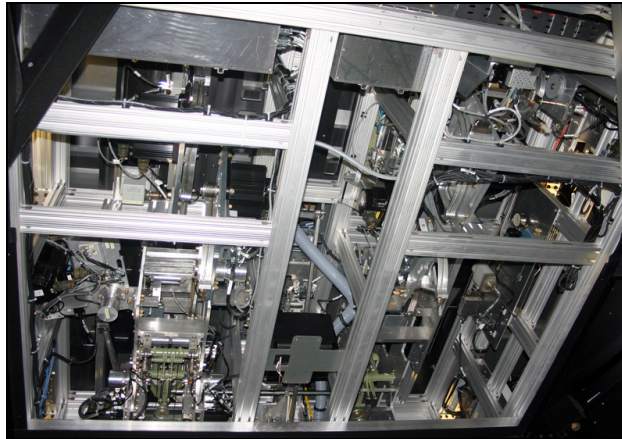
- **Anzeigen im Cockpit**

Diese dienen dem Piloten, um über den aktuellen Flugzustand zu informieren (Primär-Fluginstrumente, Triebwerksüberwachungs-Anzeigen, Systemstatus und Fehlfunktions-Anzeigen, EFIS, FMC/CDU's) Dabei werden sogar mögliche Anzeige- Ungenauigkeiten eines Instrumentes nachgebildet.

- **Bedienungskontrollen**

Alle für den Flug relevanten Schnittstellen um Input des Piloten zu ermöglichen. Dazu gehören die Primär-Flug-Kontrollen, die die grundsätzliche Steuerung des Flugzeugs ermöglichen (Steuerhorn, Ruder, Schubhebel), sowie sekundäre Kontrollen (Schalter/Knöpfe für Avionic und technische Systeme, Sicherungskasten)

- sonstige Feedbacksysteme wie physische Krafrückkoppelung an den Flugsteuerkontrollen oder Audiofeedback



*Abb 5.2.A Blick auf die Mechanik der Flugsteuerungs-Kontrollen im Fundament eines CAE5000*

### 5.3 Sichtsystem

Das Sichtsystem in komplexeren Simulatoren ist jenes Merkmal, das den größten Einfluss darauf hat, ob die Illusion eines realen Flugempfindens überzeugend ist. Es ist für die realistische Darstellung der Außenumgebung zuständig und besteht aus zwei essentiellen Komponenten:

- **Der Sichtverarbeitungs-Computer**

Dieser ist für die Produktion (im Fachjargon: "Rendering") der computer-generierten Außensicht zuständig. Meist wird er von Sichtsystem-Herstellern bereits in integralen und proprietären Hardware-Software-Kombinations-Lösungen angeboten. Jene (eng. gekoppelte) Kombination von Hardwareteilen und dazugehöriger Software wird auch oft unter dem Begriff „Image Generator“ (IG) zusammengefasst. Dieser erhält Information, wie Fluglage und Koordinaten vom Hostcomputer. Anhand dieser Information, greift er in Folge auf eine lokale Datenbank zu, in der sämtliche - für die geographische Position relevanten - Landschaftsmerkmale gespeichert sind. Aus diesen Daten berechnet der Computer die entsprechend perspektivisch korrekte CGI-Darstellung des Bodens und des Himmels samt der dazugehörigen Wettererscheinungen. Dieses Bild wird der Anzeige-Hardware weitergereicht. Der Detailgrad und die Qualität der synthetisch generierten Umwelt ist - je nach Simulator-Hersteller und Preis - verschieden. In den ersten Full-Flight-Simulatoren Anfang der 70er-Jahre ließ die damalige Technik durch Verwendung kalligraphischer

Strichzeichnungen nur ungefähre Landschaftsdarstellung bei Nacht zu. Ende der 70er konnte die Außensicht schon mit Hilfe farbiger polygonaler Flächen in 3D repräsentiert werden. Heutzutage wird durch Realtime-Rendering die Darstellung der Landschaft unter anderem schon durch topographisch korrektes Mesh-Terrain in Kombination mit regelmäßig aktualisierten Satelliten-Daten und -Bildern erstellt. Die realistische Visualisierung atmosphärischer Effekte, wie Schatten, Lufttrübung, Nebel, Wolken, Bewegungsunschärfe, Sonnen-Blendeffekte und die korrekte Farbwiedergabe bei Tages- und Dämmerlicht ist für Sichtverarbeitungs-Computer der heutigen Generation kein Problem mehr. Als marktführende Hersteller von Sichtsystem-Lösungen sind die - vorwiegend in den USA gelegenen - Unternehmen Evans & Sutherland (E&S) Computer, CAE oder Quantum 3D. Als einer der populärsten Vertreter sind hier die Sichtsystem-Lösungen EP-1000CT (E&S), MaxVue (CAE), oder SP-X 500 zu nennen. Jene Sichtsysteme müssen meist spezielle funktionale Kriterien erfüllen, um den FAA/JAA-Richtlinien für einen Level-D FFS zu entsprechen. So ermöglicht beispielsweise ein System, wie der EP-1000CT eine 3-Kanal-Konfiguration (Bildperspektiven für 3 unterschiedliche Anzeige-Systeme), nahtlose Textur und Pixelübergänge und ein effektives Sichtfeld (Field Of View - FoV) von 200 Grad in der Horizontalen und 40 Grad vertikal.<sup>25</sup> Viele Sichtsystem-Hersteller bieten bei ihren Produkten neuerdings auch schon „Commercial-off-the-Shelf“ (COTS) - Lösungen an, die sich teilweise schon aus Consumer-Hardware (Grafikkarten, CPU's) zusammensetzt.

- **System für die Außen-Darstellung**

Diese Vorrichtung(en) sind für die eigentliche Anzeige der Außensicht verantwortlich. Je nach Simulator-Typ gibt es hier Varianten unterschiedlich technischen Aufwands. Einfache Simulatoren bieten lediglich TFT/CRT-Monitore, oder Projektoren an.

Professionelle Full-Flight-Simulatoren werten die Qualität der visuellen Empfindung dahingehend auf, dass sie den Fokus und somit die scheinbare

---

<sup>25</sup> vgl. Evans&Sutherland (2006).

Distanz des virtuellen Horizonts durch optische Tricks auf unendlich setzen. Somit bekommt der Betrachter das Gefühl, er blicke tatsächlich durch ein Fenster "in" eine sich weit erstreckende Landschaft, anstatt nur auf eine flache Projektionsfläche. Diese optische Illusion wird durch so genannte Collimated Displays ermöglicht. Dabei werfen ein oder mehrere Projektoren das Bild durch eine gekrümmte Linse auf einen großen, konkav geformten Spiegel. Dieser Spiegel ist um die Cockpit-Fenster halbkreis-förmig angeordnet. Es entsteht somit eine virtuelle Projektionsfläche mit einem Sichtfeld von meist 180 Grad. Durch den Spiegel und die Linsen, werden alle Lichtstrahlen dahingehend umgelenkt, dass sie nicht mehr strahlenartig von einem Punkt auf der virtuellen Projektionsfläche zum Betrachter wandern, sonder komplett orthogonal zu der virtuellen Projektionsfläche und annähernd parallel zu den benachbarten Lichtstrahlen emittieren. Dadurch entsteht ein beachtenswerter Effekt der räumlichen Tiefe. Das Simulator-Cockpit scheint sich somit für den Piloten tatsächlich "durch" den virtuellen Raum zu bewegen.

#### **5.4 Audio-System**

Die Simulation des akustischen Ambientes ist - genauso, wie das Sicht- und Bewegungssystem - essentiell, die Illusion eines realen Fluges aufrecht zu erhalten. Sowohl digitale, polyphone Hi-Fi-, als auch Lo-Fi-Tonquellen werden durch den geschickt platzierten Einsatz von Lautsprechern wiedergegeben, um das korrekte Geräusch der Triebwerke und der Wetter-, Wind- und Aerodynamik-Einflüsse zu simulieren. Aber auch die durch Avionik und Klima-Anlage verursachten Nebengeräusche, sowie sämtliche Warn- und Hinweis-Signale werden detailgetreu wiedergegeben. Hier sorgen oft über mehr als 200 Lautsprecher und Ausgangs-Leistungen bis zu 10.000 Watt für einen wirklichkeitsgetreuen Gesamteindruck.

#### **5.5 Bewegungs-System**

In fortgeschrittenen Full-Flight-Simulatoren dient ein Bewegungssystem zur Vervollständigung der sensorischen Illusion. Dabei ist die gesamte Pilotenschnittstelle samt Sichtsystem auf einer beweglichen Plattform montiert,

die durch 6 Hydraulik-Zylinder in Lage und Position verändert werden kann. Diese Vorrichtung nennt sich Hexapod oder auch Stewart/Gough-Plattform. Die durchdachte Anordnung der Hydraulik-Zylinder macht prinzipiell Bewegung in 6 Freiheitsgraden (DoF) möglich (Rotation, Translation jeweils um X-, Y-, Z-Achse). Allerdings ist der Bewegungsbereich in allen Freiheitsgraden limitiert. Eine 1:1-Abbildung aller möglichen Fluglagen (z.B. Rückenflug) ist somit schon rein technisch nicht möglich. Um diese Einschränkung zu umgehen und dem Piloten trotzdem genug Stimuli für eine realitätsnahe Empfindung von Bewegung zu ermöglichen, wird eine Methode namens "Acceleration Onset Cueing" eingesetzt. Dabei gibt die Plattform den allerersten Bewegungsimpuls als Andeutung für Beschleunigung in die gewünschte Richtung. Anstatt die Bewegung dann kontinuierlich weiterzuführen, fährt die Plattform unmerklich sanft in die Ursprungsposition zurück („Washout Phase“), während das Sichtsystem die Bewegung visuell weiterführen lässt. Die Rückbewegung in die Ursprungsposition findet unterhalb der sensorischen Wahrnehmungsschwelle eines menschlichen Organismus statt. Da das menschliche Gleichgewichtsorgan, sensorisch sowieso nur auf Änderung in Beschleunigung/Verzögerung anspricht, werden im Gehirn trotzdem die Reize als kontinuierliche Bewegung empfunden. Das bedeutet, dass das Bewegungssystem eine sehr enge Koppelung mit dem Sichtsystem benötigt, um überzeugende Bewegungs-Stimuli zu simulieren. Teilweise werden Effekte, wie die translatorische Beschleunigung (wie sie beispielsweise beim Start als "Drücken in den Sitz" empfunden wird) durch eine kleine vertikale Nickbewegung nach hinten emuliert, während das Sichtsystem dem Piloten nach wie vor die horizontale Lage vortäuscht.



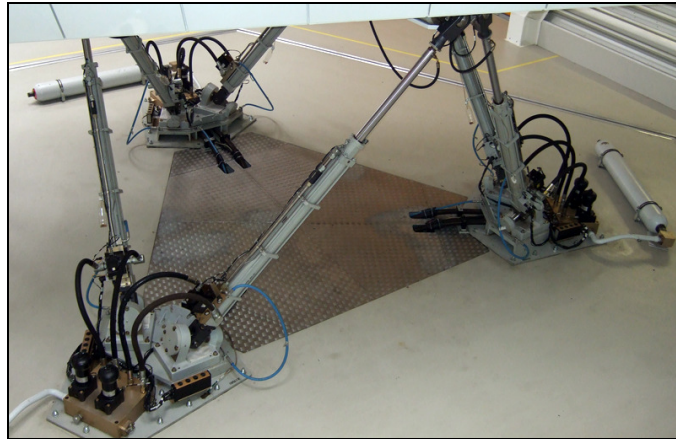


Abb 5.5.A Hydraulisch betriebenes Bewegungssystem eines CAE A320-Simulators

Wichtig dabei ist eine sehr akkurate Synchronisation mit dem Sichtsystem. Eine möglichst latenz-arme Ansteuerungszeit ist essentiell, um Irritationen zu vermeiden. Das Sichtsystem darf zum Beispiel niemals vor dem Bewegungssystem eine virtuelle Bewegung andeuten, sonst kann es zu Gleichgewichtsstörungen beim Piloten kommen ("Simulator Sickness"). Während es Simulatoren gibt, die nur durch ein Sichtsystem virtuelle Bewegung nachbilden, ist ein Einsatz von Bewegungssystemen nur in Kombination mit High-End-Sichtsystemen möglich. Bei modernen FFS finden heutzutage teilweise auch schon - anstatt hydraulische Zylinder - elektrisch betriebene Hexapoden (durch 4 Motion-Motoren) Verwendung, die wesentlich genauere und sanftere Hub-Bewegung ermöglichen sollen - bei gleichzeitiger Energieersparnis von ca. 80% zu den konventionellen Hydraulik-Systemen. Nachdem so ein System in relativ kurzen Zeitspannen die schwere Simulator-Kapsel (zwischen 15-50 Tonnen Eigengewicht) in Bewegung bringen muss, wirken durch die Massen-Trägheits-Momente auf den Boden oft nicht zu vernachlässigbare Kraft-Impulse. Um eventuell auftretende, störende Bodenschwingungen zu kompensieren, ist die Plattform, auf der die Hexapod-Vorrichtung verankert ist, vom restlichen Fundament schwingungsfrei entkoppelt.

## 5.6 IOS (Instructor Operating Station)

Eine der wichtigsten Anforderungen an einen Simulator ist, dass ein Ausbilder die Trainings-Umgebung, in der sich das simulierte Flugzeug befindet,

vollständig kontrollieren kann. Dies erfolgt in der Regel durch eine separate Schnittstelle in Form eines Computer-Terminals - der Instructor Operating Station (IOS).



Abb 5.6.A Instructor Operating Station



Abb 5.6.B Die moderne IOS im CAE5000-Simulator

Änderungen der Flugbedingungen werden direkt zum Host- Computer geschickt. Hiermit hat der Ausbilder die Möglichkeit, das Training zu beobachten und Bedingungen je nach Trainingsabsicht zu modifizieren.<sup>26</sup> Dazu kann er über ein User Interface den Simulator beispielsweise re-positionieren, die Simulation zu jedem Zeitpunkt anhalten, oder gezielt Parameter verändern, wie Wetter- und Wind-Einflüsse, sowie Fehlfunktionen triggern. Beim User-Interface kommen meiste berührungs-sensitive Touch-Screen-Displays zum Einsatz, um spontanere Bedienung zu ermöglichen. Umgekehrt liefert die IOS auch Informationen über das Flugprofil zur Evaluation durch den Ausbilder.

Kleinere Flugübungsgeräte vereinen in der Regel einige, der oben genannten Komponenten als Mikrostrukturen in einem Gerät, auf andere Komponenten wird hierbei möglicherweise komplett verzichtet.

Bekannte Hersteller von Full-Flight-Simulatoren sind „CAE“ aus Kanada, „Link“, „FlightSafety International“ (FSI), „Frasca International“, „Rockwell/Collins“ aus den USA, „Thales Group“ aus Frankreich und „Rediffusion“ aus England.

---

<sup>26</sup> vgl. Gabbai, Jonathan: (2001).

## 6 Kategorisierung/Terminologie der Trainingsgeräte

Die Pilotenausbildung bietet meist Raum für diversifizierte Trainingsvarianten. Viele Teildisziplinen können mit unterschiedlichen Methoden und Werkzeugen trainiert werden. Deshalb gibt es auch unter den Simulatoren Varianten, die eine Einteilung von Training nach Verwendungszweck, sowie Grad des Umfangs und der Qualität ermöglicht. Je nach Typ - muss ein Simulator gewisse Anforderungen erfüllen. Prinzipiell haben jedoch alle Simulator-Typen Eines gemein: Sie stellen an sich einen simplen Input-Output-Prozess dar. Sie erhalten Stimuli vom Piloten, verarbeiten diese und geben dementsprechend gewünschte Informationen zurück.<sup>27</sup>

Die zwei größten Luftfahrt-Autoritäten - in den USA die Federal Aviation Administration (FAA), in Europa die Europäische Agentur für Flugsicherheit (EASA) in Kooperation mit der internationalen Joint Aviation Authority (JAA) - unterteilen dabei die Simulator-Trainings-Geräte nach Verwendung in Klassen. Dabei weicht das Klassifikations-System von der FAA in der Terminologie und Einteilung in einigen wenigen Bereichen von dem der EASA/JAA ab. In anderen Bereichen wiederum, gibt es glücklicherweise Konformität. Der Autor nimmt als Ausgangspunkt der Klassenbeschreibung das amerikanische System und möchte bei den einzelnen Punkten - wo möglich - auf das europäische Äquivalent verweisen.

Alle Geräte/Einrichtungen, die durch Simulation Pilotentraining unterstützen, werden nach der Definition der JAA unter dem Begriff "**Synthetic Training Device**" (**STD**) zusammengefasst.<sup>28</sup> Jene unterteilen sich in folgende Klassen:

### 6.1 Full Flight Simulator (FFS)

Äquivalente Deklaration der EASA/JAA: "Flight Simulator" (**FS**)

Ein FFS integriert alle Komponenten, die eine physische Wahrnehmung des Fluges in vollem Umfang gewährleisten. Die wesentlichsten Eigenschaften:

- Wirklichkeitsgetreues Replikat des gesamten Cockpits in voller Größe

---

<sup>27</sup> vgl. Gabbai, Jonathan: (2001).

<sup>28</sup> vgl. JAR-STD 1A: Aeroplane Flight Simulators. (2003).

- Sichtsystem
- Bewegungssystem (Hexapoden)

Sämtliche Bedienungen und Anzeigen im Cockpit sind voll-funktional und vollständig simuliert. Angefangen von echten Pilotensitzen, bis hin zum (voll-funktionalen) Sicherungskasten der Fluginstrumente, versucht ein FFS die perfekte Illusion zu erzielen, in einem realen Cockpit zu sitzen. Alle im Kapitel 6 erwähnten technischen Komponenten finden hier Verwendung.

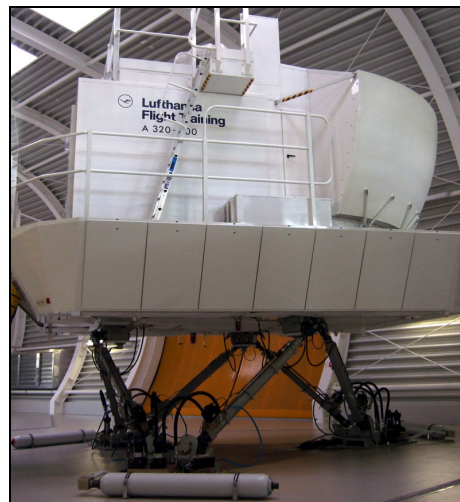


Abb 6.1.A Ein Full Flight Simulator

Weiters existieren verschiedene Qualifikations-Stufen von Full Flight Simulatoren. (Level-A bis Level-D). Näheres dazu im Kapitel 7.

## 6.2 Flight Training Device (FTD)

Alle Flugsimulator-Typen, die kein Bewegungssystem implementieren, fallen unter die Kategorie der Flight Training Devices (FTD's). Die FAA zertifiziert FTD's durch Qualifikations-Stufen, die von Level-1 bis Level-7 (höchst zu erreichende Stufe) reicht. Flight Training Devices lassen sich wiederum in Sub-Kategorien einteilen.

### 6.2.1 Fixed Simulator

Äquivalente Deklaration der EASA/JAA: "Flight and Navigation Procedures Trainer - Typ 2" (**FNPT II**)

Wie der Name verrät, handelt es sich hierbei um eine wirklichkeitsgetreue Nachbildung des Cockpits eines Flugzeugmusters oder einer Serie, die kein

Bewegungssystem besitzt, aber meist mit einem Sichtsystem ausgestattet ist. Meist unterliegt das Sichtsystem aber hier nicht so hohen qualitativen Anforderungen, wie bei einem FFS. Alle im Fixed Simulator vorhandenen Bedienungen und Steuer-Eingabe-Möglichkeiten sind allerdings authentisch und voll-funktional. Fixed Simulators bieten somit eine Alternative zum Training mit Full Flight Simulatoren - jedoch mit erheblichem Kosten-Vorteil.

### 6.2.2 Instrument Based Simulator

Äquivalente Deklaration der EASA/JAA: "Flight and Navigation Procedures Trainer - Typ 1" (**FNPT I**)

Diese Art von FTD's implementiert meist nur die Instrumentierung im Cockpit einer Flugzeugklasse, bzw. Teile davon. Ein Sichtsystem ist hier nicht unbedingt erforderlich. Diese FTD's eignen sich besonders, um gewisse flugtechnische Herausforderungen (Erkennen der Fluglage, Lösen von Problemen) nur durch Hinweise der Instrumente zu meistern. Sie finden meist im IFR-Training Verwendung (Training für Instrumentenflug-Berechtigung).

Flugübungsgeräte, die nur Teile der Instrumentierung darstellen, werden **Part-Task Trainers (PTT's)** genannt und sind meist spezialisiert für Training der Funktionsweise(n) eines oder mehrerer Teilsysteme eines Flugzeugs.

**Cockpit Procedure Trainer (CPT)** setzen den Fokus wiederum zur Gänze auf das Training der Durchführung von bestimmten Operationen/Abläufen, die während eines Fluges oft unter Stress durchgeführt werden müssen.



Abb 6.2.A FNPT Typ 1

### 6.3 PC-based Simulator

Die dritte große Überklasse der Simulatoren sind jene, die einen PC als Hardware-Basis verwenden. Im Abschnitt II, Kapitel 1 dieser Arbeit wird diese Kategorie noch ausführlich behandelt. Aus Gründen der Vollständigkeit sollen an dieser Stelle jedoch zumindest die drei wesentlichen Gruppen von PC-Basierenden Simulatoren erwähnt werden:

#### 6.3.1 Von den Luftfahrtbehörden zugelassene Trainer - PCATD's

Diese Trainer werden durch eine auf dem PC laufende Software in Kombination mit einer zusätzlichen, externen Hardware repräsentiert. Jene optionale Hardware soll die Bedienung einiger der wichtigsten Fluginstrumente ermöglichen oder gegebenenfalls sogar Teile der Cockpit-Anzeigen mechanisch implementieren. Die korrekten Größenverhältnisse und die Vollständigkeit sämtlicher Instrumentierung im Cockpit spielen hier nur eine untergeordnete Rolle. Begriffe, wie **Verfahrenstrainer** oder **PC-Basierender Instrumentenflug-Trainer**, stehen oft als Synonyme für PC-based Simulatoren.

Diese Trainer spielen gerade in den Anfängen des Instrumenten-Flug-Trainings eine wichtige Rolle. Die Gesamtheit aller von Luftfahrtbehörden zertifizierten PC-based Simulatoren für den professionellen Trainingseinsatz wird unter den Begriffen **PCATD** (PC Aviation Training Device) oder **B-ATD** (Basic Aviation Training Device) zusammengefasst.



Abb 6.3.A Ein zertifizierter PCATD von ELITE

### 6.3.2 Sonstige Computer-Based Training Devices

Diese Art von Simulatoren, die zur Gänze als (Trainings-)Software für PCs realisiert sind, besitzt einen Sonderstatus. Sie sind (meist) nicht von Luftfahrtbehörden offiziell zugelassene oder qualifizierte Trainer, sondern bieten quasi "inoffiziell" eine optionale Ergänzung zur Vertiefung von Flugtraining. Siehe Abschnitt II, Kapitel 1.2.

### 6.3.3 Flugsimulationen aus der Unterhaltungsindustrie (PC-EFS)

Zu guter letzt gibt es jene Simulations-Software, die aus der Unterhaltungsindustrie stammt und mit dem Genre "PC-Computerspiel" verknüpft ist. Solche Flugsimulatoren sind meist zu einem Preis erhältlich, der einem typischen Massenwaren-Software-Produkt entspricht. Dabei gibt es sowohl militärische, als auch zivile Simulationen, wobei einige Produkte den Schwerpunkt auf maximalen Spielspaß und "Action" legen, andere wiederum möglichst realitätsnahes Verhalten anstreben. Der Abschnitt II, Kapitel 1.3 dieser Arbeit widmet sich genau dieser Kategorie noch ausführlich.

Leider blieb die Begriff-Suche des Autors in Literatur und Internet hier mehr oder weniger erfolglos. Scheinbar existiert weder ein adäquater Begriff noch ein eindeutiges Kürzel zur Referenzierung dieser Art von Simulatoren. Da aber gerade im Abschnitt II, jener Simulator-Typ oft im Vergleich mit zertifizierten synthetischen Übungsgeräten erwähnt werden soll, hat sich der Autor erlaubt, den Begriff **"PC-based Entertainment Flight Simulators" (PC-EFS)** einzuführen.



## 7 Wann ist ein Simulator professionell - die Zertifizierung

Im Allgemeinen gibt es für Flugsimulatoren im Rahmen des Flugtrainings zwei grundsätzliche Verwendungsmöglichkeiten. Bei der Option 1 wird Flugsimulation als nicht-verbindliche, freiwillige Option zur reinen Ergänzung zum offiziellen Flugtraining verwendet. Ein Simulator soll hierbei "nur" als Hilfe zum Verständnis des Lehrstoffes und dessen mentale Festigung dienen und außerhalb der regulären Trainings-Umgebung "in eigenem Ermessen" - quasi in der Rolle einer Fleißaufgabe verwendet werden.

Option 2 stellt jenen Fall dar, bei dem Simulatoren aktiv in einem offiziellen Trainingsprozess zur Piloten-Ausbildung integriert sind und den Fortschritt des Trainings auch aktiv beeinflussen (sollten). Diese Simulatoren sind ein fixer Bestandteil des streng genormten Trainingsablaufs. Während bei Option 1 im Prinzip allein der Flugschüler entscheidet, ob ein Software- oder Hardware-Produkt für ihn didaktisch wertvoll sein könnte und ihm die freie Entscheidung über die Wahl der Qualität des Simulators obliegt, haben Simulatoren, die bei der Variante 2 Verwendung finden, wesentlich strengere Auflagen von "oben". Wie bereits in den vorigen Kapiteln angedeutet, entscheiden hier Luftfahrt-Autoritäten, ob ein Simulator als fixer Bestandteil eines offiziellen Trainingsprozesses tauglich ist oder nicht. In Amerika ist dafür die Federal Aviation Administration (FAA) zuständig, in Europa die Joint Aviation Authority (JAA) in Kooperation mit der EASA.

Bei einer Zertifizierung, bzw. einer Qualifizierung eines Flugsimulators muss gegenüber der zuständigen Luftfahrtbehörde nachgewiesen werden, dass unterschiedliche Flugzustände und das Verhalten von Komponenten des zu simulierenden Flugzeuges möglichst identisch mit dem zu simulierenden Flugzeugtyp ist.<sup>29</sup> Dabei haben die Luftfahrtbehörden Anforderungskataloge, mit deren Hilfe der Simulator evaluiert wird.

In der Regel werden beim Zertifizierungsprozess mit dem Simulator spezifische Flugversuche durchgeführt, um zu testen, ob der Simulator alle qualitativen

---

<sup>29</sup> vgl. Aero Invent: Entwicklung des "Qualification Test Analyzer".



Anforderungen erfüllt. Ist die (meist sehr komplexe und aufwändige) Evaluation erfolgreich, so muss in regelmäßigen Zeitintervallen ein erneuter Nachweis ("Qualification") erbracht werden, bei dem getestet wird, ob ein Simulator von den bei der ursprünglichen Zulassung ermittelten Referenzdaten abgewichen ist. Die Ergebnisse der Evaluation werden in einem "Qualification Test Guide" (QTG) beschrieben. Nur, wenn ein Simulator diesen Test besteht, erhält er entsprechend die JAR- bzw. FAA-Zulassung und darf als Trainingsgerät für Piloten zugelassen werden.<sup>30</sup>

Dabei wird nicht nur festgelegt, welcher Kategorie der Flugsimulator angehört, sondern dem Trainingsgerät wird auch - je nach erfüllten Anforderungen - eine Qualifikations-Stufe zugeordnet, die quasi über den Grad des Trainingspotentials informiert. Bei FTD's gibt es sieben Qualifikations-Stufen, angefangen von Level 1 bis Level 7. Je höher die Stufe, desto mehr qualitative Anforderungen muss ein Simulator erfüllen.

Bei Full Flight Simulatoren gibt es hingegen 4 Stufen. Die Stufen reichen in alphabetischer Reihenfolge von Level-A bis Level-D. Bei allen 4 Qualifikations-Stufen muss der Cockpitaufbau - einschließlich aller Instrumente und Steuer-Kontrollen - wirklichkeitsgetreu nachgebildet sein. Die Charakteristik der Flugsteuer-Kontrollen muss dem realen Abbild entsprechen. Jeder Simulator muss außerdem über ein Sichtsystem verfügen. Jede höhere Stufe muss die Anforderungen der vorangegangenen niedrigeren Stufe miteinbeziehen.

**Level A** ist jene Stufe, die die niedrigste technische Komplexität erfordert. Ein Auszug der wesentlichsten Voraussetzungen wäre:

- Sichtdarstellung bei Nacht mit einem Sichtfeld von mindestens 45° in der Horizontalen und 30° vertikal.
- Reaktionszeit der Steuereingaben muss unter 300ms liegen

### **Level B**

- Realistischere Flugeigenschaften anhand Flug-Testdaten

---

<sup>30</sup> vgl. Aero Invent: Entwicklung des "Qualification Test Analyzer".

- Realistische Handhabung des Flugzeugs am Boden, inklusive Miteinbezug von aerodynamischer Beeinflussung des Bodens

### **Level C**

- Sichtsystem muss Dämmerung und Nacht mit einem Sichtfeld von mindestens 75° darstellen können
- Ein Bewegungssystem mit 6 Freiheitsgraden ist vorgeschrieben
- Detailliertere und umfangreichere Repräsentation von Geräuschen
- Reaktionszeit der Steuereingaben muss unter 150ms liegen
- dynamisches Kraftfeedback auf den Steuerkontrollen

**Level D** repräsentiert die höchst zu erreichende Qualifikations-Stufe.

- Sichtsystem muss Tag, Nacht und Dämmerung darstellen können
- Wiedergabe von Geräuschen muss so akkurat wie möglich sein.

Nach der Evaluierung erhält der Simulator in der Regel eine Bescheinigung, die mit der Auflistung aller bestandenen Voraussetzungen, die Tauglichkeit des Simulators für Trainingszwecke belegt. Dieses Dokument wird "Qualification Test Guide" (QTG) genannt. Im amerikanischen Raum findet als Synonym auch die Bezeichnung "Approval Test Guide" (ATG) Verwendung.

#### **7.1 Die Zertifizierung bei der JAA/EASA:**

Anforderungen und Standards werden bei der JAA/EASA generell in den "Joint Airworthiness Requirements" (JARs) festgehalten. Im Speziellen widmet sich das Dokument "JAR-STD 1A" den Bestimmungen und Anforderungen an synthetische Flugübungsgeräte. Dabei gelten je nach Trainings-Typ (FNPT, PCATD oder FFS) unterschiedliche Anforderungspunkte. Eine Auflistung aller Anforderungen für jeden Simulator-Typ würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Für eine komplette Auflistung aller Richtlinien sei hier die "Bekanntmachung der Richtlinie über die Anforderungen an synthetische Flugübungsgeräte und das Lehrpersonal an Flugübungsgeräten"<sup>31</sup> erwähnt.

---

<sup>31</sup> vgl. Luftfahrt-Bundesamt: II 93/98, (1998).

Dieses Dokument beschreibt die wesentlichen Punkte, die auch analog im JAR-STD 1A zu finden sind.

## **7.2 Die Zertifizierung bei der FAA:**

Die FAA hält die Anforderungen an synthetische Trainingsgeräte in so genannten "Advisory Circular Reports" (ACs) fest. Insbesondere die qualitativen Anforderungen an Simulatoren und deren Qualifikationspraktiken werden in den Dokumenten AC120-40B "Airplane Simulator Qualification" und AC120-45A "Airplane Flight Training Device Qualification" festgehalten. Darüber hinaus stellt die FAA die Anforderungen an PC-basierende Flugübungsgeräte in einem separaten Dokument zur Verfügung. Im Advisory Circular AC61-126 "Qualification and Approval of Personal Computer-Based Aviation Training Devices" (Stand: 12.Mai 1997) wird erstmals versucht, Referenzen für die Zertifizierung von PCATD's festzuhalten.

Die einzelnen Evaluierungsmethoden sind bei der FAA in vielen Bereichen ident mit denen der JAA. Auch die Einteilung der Qualifikationsstufen deckt sich - zum Erhalt eines internationalen Standards - zum größten Teil mit der Kategorisierung der JAA.

Im Rahmen einer Flugausbildung muss meist ein gewisses Kontingent an Praxis-Flugstunden absolviert werden, um die Bescheinigung zu erhalten.

Hat ein Simulator eine Zertifizierung durch eine Luftfahrt-Autorität erlangt, so kann mit dem Flugübungsgerät auch unter anderem bei der Instrumentenflug-Ausbildung (IFR-Rating) 20 der geforderten Trainings-Flugstunden auf dem Simulator absolviert werden. Vorweg erwähnt sei hier, dass sogar zertifizierte PCATD's für die Absolvierung von Flugstunden zum Erhalt der IFR-Lizenz legitimiert sind. Wie und in welchem Umfang das möglich ist, wird im Abschnitt II noch einmal Erwähnung finden.

## ABSCHNITT II

Nachdem der erste Abschnitt einen groben Überblick über professionelle synthetische Flugübungsgeräte vermittelt haben sollte, möchte sich dieser Abschnitt mehr mit jenen Simulatoren beschäftigen, dessen zu simulierende Komponenten überwiegend als Software auf einem handelsüblichen PC umgesetzt sind. Dazu zählen "per se" auch Flugsimulatoren aus der Unterhaltungsindustrie. Nach einer Vorstellung aller Flugsimulator-Typen auf PC-Basis - sowohl die, die zum Flugtraining offiziell zugelassen sind, als auch jene, bei denen das nicht der Fall ist, wird sich die Arbeit dem zentralen Forschungsteil widmen - nämlich der Fragestellung, ob jene - von Luftfahrtbehörden nicht anerkannte - PC-EFS in einen professionellen Trainingskontext passen könnten. Als stellvertretender Repräsentant für die Kategorie PC-EFS wurde der "Flight Simulator" von Microsoft gewählt. Prinzipiell können folgende mögliche Einsatz-Gebiete in Betracht gezogen werden:

- PC-EFS als Software-Basis für PCATD's
- PC-EFS als Bestandteil von FNPTs oder FSS
- PC- EFS als eigenständige Trainingsmethodik.

Es soll untersucht werden, ob dieses Programm eines der erwähnten Einsatzmöglichkeiten abdecken könnte.

# 1 Flugsimulatoren auf PC-Basis

## 1.1 Professionelle Trainings-Software - PCATD's

Bis vor kurzem sah man die Möglichkeit des Erlernens von prozeduralen Flugaufgaben einzig und allein im In-Flight-Training - also mittels Durchführung eines echten Trainings-Fluges. Das Training am Boden war bislang nur fürs ergänzende Lernen aeronautischer Theorie vorbehalten. Doch seit bei Computern in Sachen Leistung und Erweiterbarkeit derartige Technologie-Sprünge zu verzeichnen sind, erkennt man langsam zusätzliche Möglichkeiten. So ergaben Studien, dass das Erlernen eben jener prozeduralen Prinzipien von Instrumentenflug-Aufgaben durchaus im Rahmen eines Boden-Trainings mit entsprechend adaptierten PC-basierten Geräten möglich ist. So hat die FAA eine Reihe Hardware-Software-Kombinationen evaluiert und darauf getestet, ob jene Geräte einen positiven Lerneffekt (sprich: das Vorhandensein positiver Transfer-Effekte, ohne dass signifikante Negativ-Transfer-Effekte auftauchen) auf das Flugtraining haben könnten.<sup>32</sup>

Als Referenz veröffentlichte die FAA im Mai 1997 das Advisory Circular AC61-126, indem sie sämtliche Vorgaben und Voraussetzungen für qualifizierte PCATD's zusammenfasste.

Diese Art von Simulatoren wird in der Regel meist für das Einführungs-Training verwendet. Dazu zählt das erste Bekanntmachen mit der Funktionsweise und dem Verhalten von Instrumentierung, so wie sie in den meisten Flugzeugmustern vorhanden ist, bis hin zum Training expliziter Verfahren in der Flugpraxis.

Im Wesentlichen besteht ein PCATD aus einem handelsüblichen PC, auf dem eine Software läuft, die den Kern der Flugsimulation darstellt. Die Software bildet einen bestimmten Flugzeug-Typ oder -Muster ab, versucht dessen aerodynamisches Flugverhalten so überzeugend wie möglich zu simulieren und bietet meist auch eine sehr rudimentäre Außensicht, die meist aber nur eine nebensächliche Rolle beim Flugtraining spielt. Hauptaugenmerk wird auf die

---

<sup>32</sup> vgl. FAA AC61-126 (1997) S.2.

akkurate Visualisierung der Primär-Flug-Instrumente, Navigation, Avionic und dessen korrektem Verhalten gelegt.

Weiters wird jener PC durch Hardware ergänzt, die (generische) Teile der Bedienungen, die im Cockpit zu finden sind, physisch zur Verfügung stellen. Dazu gehören in der Regel die Kontrollen zum Steuern des Flugzeuges (Yoke, Ruder, Leistungshebel), und diverse Schalter, Hebel, Köpfe, mit denen eine intuitive Bedienung der Avionic und der Navigations-Instrumente ermöglicht wird.

Seitens der FAA müssen unter Anderem folgende Anforderungen erfüllt sein, damit eine Software-Hardware-Lösung als PCATD gilt:

- Es müssen gewisse physische Kontrollen mit adäquater Umsetzung physischer "Rückwirkung" auf den Bediener vorhanden sein - einschließlich mechanischer Kontrollen für die primäre Flugsteuerung (Steuerhorn, Ruderpedale, Landeklappen, Trimmung), für die Motorsteuerung (Schubhebel, Gemisch-, Propellerverstellung), für Kommunikations- und Navigations-Einstellungen und für diverse andere flugrelevante Systeme (z.B.: Fahrgestellhebel, Vergaservorwärmung, Höhenmesser-Kalibrierung, Stoppuhr, etc...)
- Die Verzögerung des Weges vom Zeitpunkt der Bedienungs-Eingaben bis zur Reaktions-Antwort der Software, muss weniger als 300 Millisekunden betragen.
- Die Software muss folgende Instrumente genau darstellen können: Einstellbarer Höhenmesser, Kompass, Fluggeschwindigkeits-Anzeige, Variometer, Turn-and-Bank-Anzeige, Slip/Skid-Anzeige, Künstlicher Horizont, Triebwerküberwachungs-Anzeigen, Landeklappeneinstellung, Trimmungs-Anzeige, Anzeige aller Navigations- und Kommunikations-Frequenzen, Navigations-Instrumente (VOR, ADF, ILS, OBI) und Anzeigen über Treibstoffvolumen. Für all diese Instrumente gelten zudem genaue Richtlinien, von Soll-Abweichungen, Toleranzen und Verhaltensbeschreibungen für Zeigerbewegung und Genauigkeit der Markierungen.

- Sowohl Flugdynamik als auch Leistungsdaten des simulierten Typs müssen zumindest vergleichbar mit denen des Originals sein.
- Ein Ausbilder muss die Möglichkeit besitzen, über ein separates externes Interface, Flug- und Instrumenten-Zustand zu überwachen und auch zu manipulieren. Dazu muss es möglich sein, die Simulation zu pausieren und auch Parameter wie Koordinaten, Flugrichtung, Geschwindigkeit, Fluglage, Motorleistung und Wettereinflüsse vorzugeben.
- Zu guter letzt müssen im Simulator von der FAA vorgegebene Standard-Flugsituationen durchführbar sein. Dazu zählen Kategorien, wie Standard-Instrumenten-Flug-Verfahren, abnormale Flugzustände und Notfall-Prozeduren, Instrumenten-Anflug-Verfahren, Radio-Navigationsverfahren, Kommunikationsverfahren und Verfahren beim Überlandflug.

Werden all diese Anforderungen im Rahmen einer offiziellen Evaluierung erfüllt, so darf von einem zertifizierten PCATD gesprochen werden.

Zertifizierte PC-basierende Flugtrainings-Geräte bieten in einigen Gebieten tatsächlich sogar kompletten Ersatz zum Training mit großen Flight Trainings Devices. So kann unter kostengünstigeren Bedingungen das für die meisten Piloten-Lizenzen vorgeschriebene Flug-Training am Boden absolviert werden. Für den Erhalt der Instrumentenflug-Berechtigung (IFR-Rating) ist vorgeschrieben, 20 Flugstunden in einem professionellen Simulator abzuhalten. Nach dem von der FAA publizierten Advisory Circular AC61-126, darf man nun bis zu 10 dieser 20 Pflicht-Flugstunden für den Instrumentenflugschein auf einem qualifizierten PCATD abhalten.

Einer der führenden PCATD-Hersteller ist die 1990 gegründete Schweizer Firma ELITE Simulation Solutions AG. Während das - mittlerweile auch in den USA ansässige - Unternehmen anfänglich nur Software für PCs angeboten hat, finden sich mittlerweile auch hoch-komplexe FNPT's in dessen Repertoire. Die Palette der von ELITE hergestellten PCATD's reicht von einmotorigen kolbengetriebenen Flugzeugmustern, bis hin zu 2-Strahligen Jets. Zusätzlich bietet ELITE ein breites Spektrum an Zusatz-Hardware-Lösungen, die mit deren PCATD-Software kombiniert werden kann.

Weitere bekannte Beispiele für zertifizierte PCATD's wären Produkte, wie: LAS-VGA, Flight Deck IFT Pro oder Jeppesen's FS200.

## 1.2 Nicht-Zertifizierte Computer-Basierende Trainer

Simulator-Software, die in diesen Bereich fällt, bewegt sich bereits in einer Art Grenzzone, da sie zwar nicht offiziell von Luftfahrt-Autoritäten für Training zugelassen (zertifiziert) worden ist, jedoch trotzdem derart hochqualitative Simulation bietet, sodass viele Flugschulen oder Ausbilder jene Software dennoch als Bestandteil fürs Flugtraining integrieren. Somit lassen sich - zusätzlich zur Basisausbildung - Trainingsszenarios vertiefen.

Jene Software ist somit meist im semiprofessionellen Bereich anzusiedeln. Oft steht die Systemtiefe vieler solcher Simulationen, denen der PCATD's in Nichts nach. Die Ansteuerung der Software kann zwar auch hier durch Extra-Hardware erreicht werden, der Einsatz jener Hardware ist aber im Gegensatz zu PCATD's nicht unbedingt erforderlich. Ein bekanntes Beispiel für solch eine Software ist das Produkt "**Precision Simulator 1**" von Aerowinx, das eine Boeing 747-400 simuliert. Jene Software, die an sich schon auf einem Intel 486-Prozessor lauffähig ist, bildet sowohl alle Cockpit-Elemente samt ihrem Verhalten im Normalzustand und im Fehlerfall sehr genau ab, sodass ein Flug mit einem Jumbojet in allen Aspekten nachvollzogen werden kann. 1500 anfliegbare Flughäfen, ein dynamischer Wettergenerator, der auch Windscherungen generieren kann, interaktive ATC-Führung, eine authentische Simulation des Flight Management Computers, sowie diverse Fluganalyse-Tools samt Profilplot machen diese Software zu einer hochwertigen Trainingshilfe - auch für praktizierende Piloten. Dabei ist das visuelle Layout der Software auch sehr an jenes von PCATD's angelehnt.

Als weiteres semi-professionelles Produkt konnte man den (mittlerweile veralteten) "**Airline Simulator 2**" (AS2) von Nomisoft bezeichnen. Berichten zufolge, soll der Nachfolger vom legendären "Airline Transport Pilot" besonders das Arbeitspensum des Piloten im Cockpit eines größeren Flugzeuges sehr detailgetreu widerspiegeln können<sup>33</sup>. So fokussiert die Software auf das

---

<sup>33</sup> vgl: Schäfer, Stefan (2000), S.14.



Trainieren von Arbeitsabläufen und Prozeduren, so wie sie in einem Airliner vorkommen. Simuliert werden unter anderem Flugzeuge, wie die Boeing 747-400, oder die Md-82 bzw. Md-88. Ein authentisches atmosphärisches Modell, sowie eine gute Annäherung an das reale aerodynamische Verhalten von Heavy-Jets, bot das Potential, die Software als Bestandteil für professionelle Trainingsgeräte einzusetzen. So wurde eine Spezialversion - "AS2 Professional" - publiziert, deren Einsatz in FNPT's gedacht war. Bei dieser Version konnte beispielsweise die Darstellung der Außensicht von der Kernsoftware entkoppelt werden, und so als eigenständige Entität über vernetzte Rechner laufen. Sämtliche Simulations-Parameter wurden extern zugänglich (zum Ansteuern analoger physischer Instrumente oder einem Bewegungs-System) oder manipulierbar (z.B. für eine IOS) gemacht. Die normale PC-Version versuchte, mit Innovationen, wie der Möglichkeit, dem Monitor-Bild räumliche Tiefe zu verleihen (über eine stereoskopische Brille) zu überzeugen. Dennoch wirkt die Software aus dem Jahr 1999 sowohl grafisch, als auch in ihrem technischen Umfang überholt.

### **1.3 Zivile Flugsimulatoren aus der Unterhaltungsindustrie - ein Überblick**

Während in der Unterhaltungsindustrie zu Hauf militärische Flugsimulations-Spiele zu finden sind, bei denen es nicht selten darum geht, den User mit möglichst "actiongeladenen" Szenen zu verwöhnen, finden sich im Genre ziviler Flugsimulatoren nur einige wenige Produkte, die ob ihrer Popularität und Realismus Aufsehen erregten. Einige der Prominentesten sollen hier aufgezählt werden:

#### **1.3.1 ProPilot (Sierra) 1997-1999**

ProPilot war der Versuch, ein konkurrenzfähiges Pendant zum damals marktdominierenden Microsoft Flight Simulator 98 zu schaffen. Leider zeichnete sich das Programm durch erhebliche Instabilität aus und bot schlecht umgesetztes Flugverhalten der wenigen simulierten Maschinen. Sowohl im funktional-technischen Umfang, als auch im Bereich der graphischen Darstellung blieb ProPilot in Sachen Qualität weit hinter dem Flight Simulator 98 und geriet darum schnell in Vergessenheit.

### **1.3.2 Fly! (Terminal Reality) 1999-2002**

Fly! war eines der wenigen Produkte, bei dem es anfänglich so schien, als ob es ein ernst zu nehmender Konkurrent zum Simulator von Microsoft werden könnte. Die Stärken lagen bei der hohen visuellen Qualität des Cockpits - erzielt durch genaue Darstellung der Instrumente und deren vollen Funktionsumfang. Erweiterbarkeit des Basis-Programms durch Addons war ebenso möglich. Aber auch bei dieser Simulation trübten die vielen Programmfehler, ein fehlendes Schadensmodell und die schlecht performante Darstellung der Außengrafik den Enthusiasmus. Nach dem tragischem Tod des Entwicklers im Jahre 2003, wurden auch keine Versuche mehr unternommen, ein Update des Produkts auf den Markt zu bringen.

### **1.3.3 Flight Unlimited I, II und III (LookingGlass, Eidos) 1995-1999**

Flight Unlimited - in der ersten Version durch seine Kunstflug-Tauglichkeit bekannt geworden - bestach von Anfang an durch die erstaunlich hohe visuelle Qualität der Außensicht-Grafik. Die fotorealistische Landschaftsdarstellung eröffnete dabei durchaus Potential für VFR-Training. Auch eine intelligente ATC-Führung war möglich. Allerdings war das fliegbare Terrain lokal stark eingeschränkt und ermöglichte keine längeren Cross-Country-Flüge. Erweiterbarkeit durch zusätzlich Szenarien war leider auch nicht möglich.

### **1.3.4 X-Plane (Laminar Research) ~1989 - Jetzt**

Dieser Flugsimulator bietet bis dato die beste Umsetzung on physikalisch korrektem Flugverhalten. Die realistische Flugdynamik der simulierten Luftfahrzeuge durch Echtzeitberechnungen der komplexen Flugphysik, ist bis jetzt auf der Ebene der PC-EFS in dem Grad unübertroffen. Gerade die Berechnung aller für die Aerodynamik relevanten Gleichungen bei gleichzeitigem Miteinbezug der atmosphärischen und meteorologischen Einflüsse in Echtzeit, erlaubt dem Simulator "ad hoc" die Umsetzung eines x-beliebigen Luftfahrzeugs, sei es ein Hubschrauber oder ein Space Shuttle. So wurde das Programm sogar tatsächlich erfolgreich für die Entwicklung einiger neuer Luft- oder Raumfahrzeuge zur Modellierung eines Prototyps verwendet

(CarterCopter, "Space Ship One").<sup>34</sup> Aber auch in anderen Gebieten vollbrachte der Simulator - dank der erwähnten Stärke - Pionierleistung. So erhielt er als erster PC-EFS (in einer leicht adaptierten Version) die offizielle Zulassung der FAA als PCATD, B-ATD oder als Advanced-ATD über Unternehmen wie "Fidelity" oder "Precision Flight Controls".<sup>35</sup> Aktuellen Berichten zu Folge, zeigt die NASA Interesse, X-Plane in ihr Space-Shuttle-Simulator-Programm aufzunehmen. Das Programm bietet - so wie der "Flight Simulator" von Microsoft die Möglichkeit der Erweiterbarkeit durch Addons von Drittanbietern. Darüber hinaus läuft der Simulator auf mehreren Betriebssystem-Plattformen (Windows, Linux, Macintosh). Das kontinuierliche Erscheinen von Programm-Updates beweist unumstritten Präsenz am aktuellen Markt und stellt ein ernst zu nehmendes Konkurrenzprodukt zum - in einigen Gebieten unterlegenen - "MS Flight Simulator" dar.

### **1.3.5 Flight Gear - 1998 - Jetzt**

Dieser Simulator ist als einziger Vertreter seines Genres als Open-Source-Projekt angelegt und somit auch kostenlos erhältlich. Er ist komplett Plattform-unabhängig, modular aufgebaut, und zeigt seine größte Stärke in der sehr guten Möglichkeit der Erweiterbarkeit (offener Programmcode, SDK's). Dabei stellt der Simulator bemerkenswert niedrige Ansprüche an Computerhardware. Ein nachträgliches Laden von Landschafts-Szenerien über das Internet ist ebenfalls möglich und soll nach dem Bestreben der Entwickler den virtuellen Luftraum global abdecken.

### **1.3.6 Flight Simulator (Microsoft) 1980 - Jetzt**

Dies ist wohl der bekannteste und auch beliebteste Vertreter der PC-EFS. Ihm werden sich die nachfolgenden Kapitel widmen.

---

<sup>34</sup> vgl. Wikipedia (2008) „Microsoft Flight Simulator“.

<sup>35</sup> vgl. Witt, Randy (2005)

## 2 Der Microsoft Flight Simulator

Während sich die im Kapitel 1.3 erwähnten zivilen Simulatoren (mit Ausnahme von X-Plane und Flight Gear) eher nur temporärer Beliebtheit erfreuten und bedauerlicherweise bald wieder vom Markt verschwanden, schien sich der Flugsimulator von Microsoft erfolgreich etabliert und durchgesetzt zu haben und zeigt von allen die höchste Marktpräsenz, die sich nicht nur im Internet durch unzählige Foren-, News-, Community- und Download-Seiten manifestiert, sondern auch am globalen Software-Markt durch das Erscheinen zahlreicher erwerbbarer 3rd-Party -Software-Addons. So gilt der Simulator bis heute als eines der bestverkauftesten Produkte im Entertainment-Sektor. In etwa 21 Millionen Exemplare wurden seit Beginn bis zum Jahr 2000 verkauft.<sup>36</sup>

Es stellt sich nun die Frage, wieso sich gerade diese Software einen so großen Popularitäts-Vorsprung gegenüber den anderen PC-EFS verschaffen konnte - und das, obwohl Software, wie z.B. X-Plane dem Microsoft Flight Simulator schon immer in Sachen aerodynamischer Repräsentation des Flugmodells überlegen war. Der Hauptgrund dafür ist höchstwahrscheinlich, dass der "MS Flight Simulator" jene Software ist, die die längste "Tradition" besitzt. Die Entwicklung reicht bis ins Jahr 1980 zurück und gehört somit zur ältesten Software, die Microsoft auf den Markt brachte (Mehr über die Geschichte im Kapitel 2.1). Seitdem veröffentlichte Microsoft im 2-Jahres-Rhythmus Versions-Revisionen. Dadurch hatten Entwicklungsunternehmen von Drittanbieter-Software genügend Zeit, Produktentwicklung und die Möglichkeit der Software-Erweiterung nachzuvollziehen, was wiederum zur Folge hatte, dass eine Masse an Zusatzprodukten auf den Markt kam und dabei half, den Simulator noch interessanter und populärer zu machen.

---

<sup>36</sup> vgl. Roesler-Schmidt, Andreas (2003).



Der zweite Grund ist natürlich sicherlich auch schon allein der Name des Software-Entwicklers und dessen unbestreitbar "dominierender" Bekanntheits-Grad. Zuguterletzt war sicherlich auch der moderate "massentaugliche" Preis des Produktes für die große Beliebtheit verantwortlich.

## 2.1 Geschichte des MS Flight Simulators <sup>37 38</sup>

Der historische Ursprung des "Flight Simulator" war durch eine Besonderheit geprägt. Denn bis zur Version 3.0 des Simulators, erregte der Doppelvertrieb der Software und deren unzählige Versions-Derivate für unterschiedliche Rechner-Systeme Aufsehen, und sorgte auch nicht selten für Verwirrung. So wurde der Flight Simulator in frühen Versionen einerseits von der Firma Sublogic vertrieben, die sich meist um Versions-Adaptionen für Apple, TRS-80, Atari, Tandy, NEC, Texas Instruments, Commodore und Amiga kümmerte, andererseits wurde der Vertrieb jener Version, die IBM PC-kompatibel war, von Microsoft übernommen und trug auch den Firmennamen als Präfix vor "Flight Simulator". Gerade in den Computer-Anfängen, als der emergente Fortschritt der Computer-Technologie fast im Monatszyklus nachvollziehbar war, nahm man den Flight Simulator oft als "Vorzeige-Produkt". Als Pionier bei der Darstellung von 3D-Grafik wurde der Simulator oft auch als Referenz-Programm für den Performance-Benchmark neu erschiebener Systeme gehandelt.

---

<sup>37</sup> vgl. Havlik, Josef (2008).

<sup>38</sup> vgl. Wikipedia (2008) „History of Microsoft Flight Simulator“.

- 1980** Die Firma subLOGIC veröffentlicht unter der Leitung von Bruce A. Artwick den ersten Flugsimulator für den Apple II - Heimcomputer und die TRS-80. Dieser trägt den Namen "**Flight Simulator**" und ermöglicht mit einem generischen Flugzeugtyp in einer - in 6x6 Quadrate - unterteilten generischen Landschaft zu fliegen. Die Grafik wurde durch rudimentäre Strichzeichnung mit einer maximalen Anzahl von 4 Farben dargestellt. Sublogic portiert den Flight Simulator für diverse Rechner (Commodore, Atari, NEC, u.a...)
- 
- 1982** Artwick beginnt eine langjährige Zusammenarbeit mit dem Microsoft-Konzern, der die Lizenzierung erhält, das subLOGIC-Programm für IBM PCs zu portieren. So wird der legendäre **Microsoft Flight Simulator** in der Version **1.0** publiziert. Die Darstellung der Szenerien wirkt durch die Repräsentation mittels farblicher polygonaler Flächen überzeugender.
- 
- 1984** **Flight Simulator 2.0** wird veröffentlicht. Sublogic adaptiert diese Version wiederum für mehrere Rechner-Systeme und Hardware-Kombinationen, sodass sich Verbesserungen des Programms in Farbanzahl und Auflösung je nach System mehr oder weniger manifestieren. Prinzipiell ermöglicht der FS 2 bereits die Darstellung von Außengrafik mittels Drahtgittermodell und Farbflächen. Es werden erstmals fliegbare Szenerien nach dem realen Landschafts-Vorbild skizziert. Der Vertrieb der Portierung auf IBM-PC's wird wieder vom Microsoft-Label übernommen.
- 
- 1988** Bruce Artwick distanziert sich von Sublogic und gründet die Firma BAO, die die Marke "Flight Simulator" exklusiv für Microsoft weiterentwickelt. Im gleichen Jahr erscheint der **Microsoft Flight Simulator 3** für IBM-PC's. 16-Farben-VGA-Darstellung in einer Auflösung von 640x350, die Simulation von 3 unterschiedlichen Flugzeugen, sowie die Ergänzung um weitere fliegbare Szenerien sind die wesentlichen Erneuerungen.

**1989** BAO entwickelt für Microsoft den **MS Flight Simulator 4.0**. Die Darstellung der Landschaft wird wieder um etwas detaillierter, und 5 Flugzeuge, jeweils mit komplett unterschiedlicher aerodynamischer Charakteristik, werden implementiert. Auch die Generierung und Darstellung von Wetter und Flugverkehr wird (in rudimentären Ansätzen) ermöglicht. Weiters können in einem Editor, diverse physikalische Flugparameter verändert werden, um Aerodynamik-Experimente durchzuführen. In dieser Zeit entstehen auch die ersten Addon-Programme für den Flight Simulator durch unabhängige Software-Unternehmen.

---

**1993** Veröffentlichung des **Microsoft Flight Simulator 5.0**. Diese Version stellt einen Meilenstein dar, was die graphische Darstellung anbelangt. Erstmals erhalten die Landschafts-Polygone und das Instrumentenbrett eine eigene Texturierung (und Schattierung) mit 265 Farben in einer SVGA-Auflösung von 640x400 - was zu einer wesentlich realistischeren Darstellung der Außensicht führt. 7 Szeneriegebiete in Amerika und Europa können dargestellt werden, und 4 simulierte Flugzeuge erhalten jeweils ihr eigenes Instrumentenbrett. Digitaler Ton kann über eine Soundkarte ausgegeben werden und ein neues Weltkoordinatensystem, das mehr Bezug zum realen Vorbild ermöglicht, wird eingeführt.

---

**1995** Die wesentlichsten Verbesserungs-Merkmale des **Microsoft Flight Simulator 5.1** sind eine feinere und detailreichere Darstellung der Landschaftstexturen und die Implementierung von weiteren Szenerie-Regionen (250 anfliegbare Flughäfen). Die Handhabung der Szenerie-Bibliothek wird vereinfacht, sodass Szenerie-Erweiterungen leichter umgesetzt werden können. Erstmals wird das Programm auch auf CD-Rom ausgeliefert.

---

Flugbegeisterte PC-User beginnen nach und nach, sich ihren Traum vom Fliegen mit Hilfe von selbstgebauten, nichtkommerziellen Heimflugsimulatoren zu verwirklichen. Dazu werden herkömmliche PC-Joysticks in cockpitähnlichen Mockups integriert. Der Microsoft Flight Simulator (derzeit noch in der Version 5.1) dient als meist-genutzte

Software-Plattform für Heimflugsimulatoren. Der Amerikaner Ralph Robinson gründet die Firma R&R Electronics und entwickelt die Interface Hardware EPIC, die es ermöglicht, Anzeigen, Schalter und Knöpfe, die in einem echten Cockpit zu finden sind, mittels einer ISA-Karte (später USB) mit dem PC zu verbinden und somit die Flugsimulations-Software anzusteuern. Die Kommunikation funktioniert auch in bidirektionaler Weise, sodass Events, die in der Simulator-Software ausgelöst werden, an das EPIC-Device weitergereicht werden, das wiederum Lampen oder Schrittmotoren ansprechen kann.

---

**1995** Artwick verkauft sein Unternehmen BAO - und somit die Rechte an "Flight Simulator" komplett an Microsoft, wirkt aber als Berater bei der weiteren Entwicklung des Simulators im Microsoft-Team mit. Im gleichen Jahr wird Sublogic an Sierra verkauft.

---

**1996** Der Microsoft Flight Simulator wird in der **Version 6.0** für das Betriebssystem Windows 95 portiert. Neben der Cessna 182RG, des Learjet 35A, des Schweizer 2-32 Segelflugzeugs und der Sopwith Camel, erweitert eine Boeing 737-400 und die Extra 300S den virtuellen Hangar.

---

**1997** Der Veröffentlichung des **Microsoft Flight Simulator 98** bringt wesentliche Neuerungen durch das Ansprechen von diverser Zusatzhardware mit sich. So ist erstmals eine Darstellung der Grafik durch 3D-Beschleuniger-Karten (Auflösung bis zu 1400x1050 Pixel, bei 16-Bit Farben) möglich und Steuerkräfte des Flugzeugs können über Force-Feedback-Joysticks zurückgeliefert werden. Die Instrumentenbretter der einzelnen Maschinen wurden überarbeitet, können erstmals optional durch eine virtuelle 3D-Perspektive (Virtual Cockpit) dargestellt werden und beginnen sich somit schon langsam dem Original anzunähern. 3000 Flughäfen und 45 detaillierte Städte sind umgesetzt. Nachdem das Datei-Management aller simulierten Flugzeuge, Szenerien und Töne logischer aufgebaut wird, ist ein regelrechter Boom von Erweiterungs-Software für den Flight Simulator



auf dem Payware- und Freeware-Markt zu verzeichnen

---

**1998** Enrico Schiratti entwickelt die Software Project Magenta Glass Cockpit, die Cockpitanzeigen (Primär-Flug-Anzeigen, Triebwerksanzeigen, System-Status-Displays etc.) von Boeing und Airbus-Flugzeugtypen detailgetreu nach dem realen Vorbild repräsentiert. Die Software kann auf separaten, durch ein Netzwerk verbundenen Rechner installiert werden und wird von einem Server-Rechner, auf dem der Microsoft Flight Simulator läuft, angesteuert.

---

**1999** Der **Flight Simulator 2000** erscheint erstmals in zwei Versionen - Eine Standard- und eine Professional-Edition, die sich jeweils im Umfang der mitgelieferten Features unterscheiden. Die Grafik-Engine vom "Flight Simulator 98" wurde erheblich verbessert und durch mehr Details aufgewertet. Die Landschaft kann jetzt durch eine neue modernere Geländedarstellung als echtes 3D-Höhenmodell (Mesh-Terrain) repräsentiert werden. Desweiteren sind nun 20.000 Flughäfen anfliegbar und Instrumentenbretter einiger Maschinen bieten optional eine PCATD-ähnliche IFR-Ansicht. Erstmals wird auch die Simulation eines GPS-Empfängers implementiert. Microsoft bemüht sich während der Entwicklung um Miteinbezug und Kooperation mit diversen Flugschulen und Luftfahrtbehörden (King-Schools, FlightSafety, AOPA) um dem Simulator ein seriöseres Trainings-Image zu ermöglichen.

---

**2001** Mit dem Erscheinen von **Flight Simulator 2002** wird die Software durch die Simulation eines weiten Spektrums an Luftfahrzeugtypen - vom Doppeldecker bis zum Jumbo-Jet - ergänzt. Die Darstellung der Außensicht wird durch zusätzliche Techniken erweitert (AutoGen, realistischere Wetterdarstellung). Erstmals sind virtuelle Flüge mit einer vernünftig simulierten, interaktiven ATC-Führung möglich. Auch der virtuelle Flugverkehr integriert sich logisch in das ATC-Szenario (AI-Planes). Weiters kann eine Instructor-Station durch Zusatzsoftware emuliert werden, um Parameter des Simulators extern zu beeinflussen. Auch das Fluganalyse-Tool wurde um Funktionen erweitert.

**2003 Flight Simulator 2004** wird veröffentlicht. Mit dieser Version möchte Microsoft seine Fertigkeit unter Beweis stellen, ein breites (historisches) Spektrum an Flugzeugen mit den unterschiedlichsten aerodynamischen Merkmalen simulieren zu können. Die Funktionalität des virtuellen 3D-Cockpits wird abermals erhöht und erlaubt nun auch die volle Interaktion mit den Cockpit-Bedienungselementen. Die wichtigste Verbesserung findet sich jedoch beim dynamischen Wettergenerator (Wetterbedingungen, können vom Internet eingeladen und mit echten Wetterstationen synchronisiert werden) und der realistischen Darstellung jener Wetterphänomene, wie Wolken, Regen, etc.

---

**2006 Flight Simulator X (Version 10)** wertet die Version 2004 in Sachen Grafik und Realismus noch einmal auf. So kommt unter anderem auch die vollständige Umsetzung der neusten Glass-Cockpit-Technologie (Garmin G1000 Glass Cockpit-GPS) zum Einsatz. Die Netzwerkfähigkeit der Software wird dahingehend verbessert, sodass sich 2 Personen auf unterschiedlichen Rechnern ein virtuelles Cockpit teilen können, oder Personen in die Rolle der Luftüberwachung (Tower-Simulation) schlüpfen können. Dieses Feature bietet ein hohes Trainingspotential. Die graphische Auflösung kann bis zu 1920x1200 Pixel betragen.

### 3 Die Erweiterbarkeit des MS Flight Simulators

Kein anderes Programm aus der Unterhaltungsindustrie, hat so viele Drittanbieter-Software-Unternehmen zum Veröffentlichen von Programmiererweiterungen motiviert. Im August 2008 zählte der Autor allein 975 Software-Produkte für den Flight Simulator 2004, die über den Online-Shop [www.simmarket.com](http://www.simmarket.com) angeboten wurden. Weit über 170 Hersteller-Firmen für Software-Addons - sowohl im Free- als auch im Payware-Bereich waren Microsoft namentlich bekannt. Dabei können die Addons als Freeware über diverse Internet-Download-Portale bezogen werden, als Payware über Online-Shops oder als so genannte "Boxed-Versions" über den regulären Software-Fachhandel.

Bei der Entwicklung des MS Flight Simulators wurde bereits seit der Version 4.0 besonderen Wert darauf gelegt, das Programm durch einen modularen Aufbau möglichst offen und erweiterbar zu halten. Zwar gibt es keine Möglichkeit der Einsicht in den Source-Code, doch Microsoft veröffentlicht in den meisten Fällen - fast zeitgleich mit dem Erscheinen einer neuen Flight Simulator-Version - ein komplettes SDK-Paket samt Dokumentation. Die auf der Festplatte befindliche Dateistruktur, die das Programm repräsentiert, ist so gestaltet, dass man durch simples Hinzufügen zusätzlicher Dateien, bzw. durch das Abändern von Konfigurations-Dateien in den Funktionsumfang des Flight Simulators eingreifen kann. In modernen Versionen besitzen die Konfigurations-Dateien zur Vereinfachung sogar XML-Struktur. Durch diese logischen und leicht zugänglichen Schnittstellen wurde die Erweiterbarkeit des Simulators sehr erleichtert. Diese Flexibilität wird auch von den Addon-Entwicklern sehr geschätzt - viele sehen das Basis-Programm regelrecht als eigenes „Simulator Operating System“<sup>39</sup> - dies ist möglicherweise auch der Grund, warum es so viele Addon-Produkte für den MS Flight Simulator gibt.

Da die Vorstellungen und Ansprüche der Käufer, je nach Zielpublikum, oft ein weites Spektrum abdeckt, setzen auch Addon-Entwickler unterschiedliche

---

<sup>39</sup> vgl. Dowson, Peter (2001).

Schwerpunkte bei ihren Produkten. So finden sich einerseits Erweiterungs-Produkte, die den Schwerpunkt ausschließlich auf die Maximierung des Spielspaßes gesetzt haben und von vornherein keinen Anspruch auf Realitätsnähe gestellt haben. Andererseits versuchen Entwickler jenen Simulator-Usern, die die Simulation möglichst realitätsnah erfahren wollen, Addon-Produkte zu bieten, die auf eine möglichst realistische und akkurate Reproduktion der Funktionen einer zu simulierenden Komponente - in Bezug zum realen Pendant - abzielen.

Der Funktionsumfang des Simulators kann dabei in folgenden Bereichen erweitert werden:

- Hinzufügen von zusätzlichem fliegbaren Terrain (Szenerie-Erweiterungen)
- Aufwertung diverser Parameter, die für die Darstellung der Szenerien zuständig sind. (z.B. Ersetzung von Landschafts-Texturen, Update durch feiner aufgelöste Mesh-Terrain-Daten)
- Die Verbesserung der Darstellung des Wetters und des virtuellen Luftverkehrs (AI-Traffic)
- Hinzufügen neuer Flugzeuge
- Das (teilweise) Ersetzen von Komponenten bei einem vorhandenen Flugzeug (verschiedene Außenbemalungen, realistischeres Flugmodell, authentische Luftfahrzeugs-Geräusche oder bessere Darstellung des Cockpits)
- Konkrete Flugszenarios eines bestimmten Linienfluges mit kompletter ATC-Führung

Darüber hinaus gibt es Erweiterungen, die bestimmte Aspekte des Simulators an sich modifizieren oder verbessern. Als prominentestes Beispiel soll hier das Programm FSUIPC von Pete Dowson erwähnt sein. Dieses ermöglicht das Auslesen und Verändern von simulations-internen Variablen und Parametern, sodass jene von externer Hardware oder gar über vernetzte PCs angesprochen oder verarbeitet werden können. Dieses Programm legt den Grundstein für den Ausbau des Flight Simulators zum kompletten Home-Cockpit. Weiteres dazu im

Kapitel 6. Aber auch Programme, die die komplette Interaktion des Piloten mit der Bodencrew am Flughafen realistisch erscheinen lassen, oder Programme, die einen virtuellen Flug protokollieren oder ein Flugvideo erstellen, sind im Umlauf. Über externe Editoren wird das Design komplett neuer Landschafts-Szenarien oder Flugzeuge ermöglicht. Den wesentlichsten Beitrag zu einem realistischen Flugabenteuer leisten aber Programme, die die Multiplayer-Kapazität des Simulators ausnützen, um das Flugzeug einerseits auf dem Radarschirm eines virtuellen Fluglotsen darzustellen - andererseits sämtliche mit dem Internet verbundenen Rechner, auf denen gerade mit dem Flugsimulator geflogen wird so zu synchronisieren, dass man seine "virtuellen Kollegen" im eigenen simulierten Luftraum sehen kann. Durch eine Übertragungs-Möglichkeit der Sprache über Internet, ist ein virtueller Pilot imstande, den kompletten Flugfunk (nach der korrekten ATC-Phraseologie) mit einem anderen virtuellen Fluglotsen abzuhandeln. Durch diese Online-Flug-Events können somit mehrere virtuelle Piloten und Fluglotsen über so genannte "Virtual flight networks" in einem ATC-kontrollierten Luftraumüberwachungs-Szenario teilnehmen.

Der Trend bei der Entwicklung neuerer Addons geht derzeit eindeutig in Richtung Erhöhung der Qualität von simulierten Komponenten in Sachen Identität und Realismus. Einige der Addons erheben auf ihre Produkte oft sogar den Anspruch, durch ihren in den Produkten umgesetzten Realismus, den potentiellen Einsatz beim echten Pilotentraining zu ermöglichen. In der Tat scheinen (nicht alle, aber doch) einige Wenige davon, nahezu jedes noch so kleine Detail in der Simulation nachzubilden. Einige dieser Kandidaten werden in den Folgekapitel noch vorgestellt werden. Dabei soll überprüft werden, ob jene Addons ihren Behauptungen und Versprechen in Bezug auf Realismus und Trainingspotential auch gerecht werden.

## 4 Didaktische Anforderungen für sinnvolles Pilotentraining

Bevor die Analyse von PC-EFS-Software auf eventuelle didaktische Potentiale möglich ist, sollte definiert werden, welche grundsätzlichen Trainings-Gebiete die Pilotenausbildung aufwerten können.

Grundsätzlich basieren die meisten Trainings-Konzepte auf dem Prinzip der mentalen Verinnerlichung eines Prozesses. Dies ist in den meisten Gebieten das Fundament für erfolgreiches Lernen. Mentale Verinnerlichung und Vorbereitung soll im wesentlichen Eines fördern: Das Verstehen der Konzepte, die hinter einem Flug verborgen sind. Darunter fällt auch unter Anderem die prinzipielle Bedienung des Flugzeuges. Um solche Fähigkeiten zu erwerben, müssen sie mit geeigneten Trainingsmethoden geübt werden. Im Allgemeinen macht sich bemerkbar, dass Flugschulen und andere Institutionen für die Pilotenausbildung immer mehr vom konventionell-klassischem Konzept der "Klassenraum-Lehre" weg tendieren. Statt der statischen Illustration des Lehrstoffes durch Whiteboards, Tafeln, Abbildungen und Büchern, zieht man nach und nach den Einsatz von individuellen, interaktiven, computergestützten Lehrkonzepten in Erwägung, um die Lerneffizienz zu steigern. Es ist allgemein bekannt, dass durch derartige Konzepte das Lernen im Allgemeinen als intensiver und spannender wahrgenommen wird. Dadurch ist es implizit effektiver.<sup>40</sup>

Bislang war man bei der Schulung oft auch auf ein echtes Cockpit angewiesen, um bestimmte Verfahren oder Funktionsweisen der einzelnen Instrumente (z.B. erstes Kennenlernen der Instrumente) zu verdeutlichen. Abgesehen von den obligatorischen Flugstunden, die in einem echten Flugzeug absolviert werden müssen, ist das Organisieren eines Schulungsflugzeugs, allein zum Trainieren von einzelnen Teilaspekten, oft ein Ringen mit einer knappen Ressource. Man stelle sich hier als Lehr-Beispiel vor, dass gezeigt werden soll, wie man Navigations- oder Kommunikations-Radios richtig einstellt. Die Miete eines extra Schulungsflugzeuges für solche Trainingszwecken, stellt somit oftmals

---

<sup>40</sup> vgl. Williams, Bruce (2006), S.20-21.

einen enormen zeitlichen und finanziellen "Overhead" dar. Aber auch selbst die Anmiete von professionellen Simulatoren oder Flight Training Devices für solche Zwecke, wird heutzutage schon oft als "vergeudender" Gebrauch einer oftmals komplett ausgelasteten - und deswegen wertvollen Ressource gesehen und ruft somit nach einer Alternative, die eventuell im Einsatz von PC-EFS gefunden werden könnte. Die Beschaffung ein der Einsatz eines PC-EFS ist in Relation wesentlich kostengünstiger und könnte bei der Methodik zur Veranschaulichung des Lehrstoffs als didaktisches Bindeglied (quasi als Übergangslösung) zwischen der Tafel und dem Einsatz eines FTD's verwendet werden.<sup>41</sup>

Aber nicht nur in Flugschulen macht sich der Aufbruch ins digitale Zeitalter bemerkbar. Auch bei den Flugzeugen werden finden immer mehr Computer Verwendung. So finden sich heutzutage auch schon in Cockpits vieler General Aviation-Flugzeuge computerisierte Instrumentendarstellungs-Systeme, die an die modernen "Glass-Cockpits" einiger großer Airliner erinnern. Vormalig analoge Primärflug-Instrumente werden dort digital reproduziert, bzw. simuliert. PC-EFS sind auf demselben Prinzip aufgebaut, somit könnte der Einsatz von PC-EFS hier unter Umständen auch als anwendungsnäheres Trainingsmittel fungieren.

Gerade Eigenschaften, wie hohe Verfügbarkeit und Portabilität, die wiederum zeiteffizienteres Training und Kostenreduktion bei der Schulung ermöglichen, scheinen überzeugende Argumente zu liefern. Bruce Williams sieht in seinem Buch "Microsoft Flight Simulator as a training aid" den Simulator als "schweizer Taschenmesser" des Flugtrainings. Er ist billig, überall und vielseitig einsetzbar. Eine qualitative Hochwertigkeit sei zwar nicht immer in allen Einsatz-Gebieten gegeben, aber in manch speziellen Trainings-Szenarios sei so ein PC-EFS die einzige vernünftig einsetzbare Trainingsmöglichkeit. Williams ist sogar in diesem Kontext von der Unentbehrlichkeit einer solchen Simulator-Software überzeugt.<sup>42</sup>

---

<sup>41</sup> vgl. Williams, Bruce (2006), S.20-21.

<sup>42</sup> vgl. Williams, Bruce (2006), S.24.

Aber noch ein weiterer Faktor, der für den potentiellen Einsatz von PC-EFS im Flugschulungs-Betrieb spricht, sei hier erwähnt. Dabei bietet sich ein PC-EFS gerade als Werkzeug zur Unterstützung einer grundsätzlichen Lernmethode an. Um sich eine Fähigkeit permanent anzueignen, bedarf es nicht nur eines durchdachten Trainings-Konzepts, sondern auch die Möglichkeit, jene Übung öfters zu wiederholen. Flugschüler hätten mit einem PC-EFS die Möglichkeit, gewisse aufgabenspezifische Übungen spontan und ohne Einschränkung so oft, wie notwendig zu wiederholen, ohne etwaige Zusatzkosten zu fürchten.

Tatsache ist jedoch, dass das Training mit einem Simulator - weder in Form eines professionellen und zugelassenen Trainings-Geräts, noch als PC-Software - die Pilotenausbildung komplett ersetzen kann. Das bedeutet, dass man möglichst genau jene Teilaspekte des Trainings erkennen sollte, die optimal mit einem Simulator trainiert werden können. Es sollte somit von Vornherein erkannt und festgelegt werden, welche Lernziele ein simulierter Flug überhaupt erfüllen kann.

Dabei dürfen die neuen Erkenntnisse, die durch diese Trainingsmethode gewonnen wurden, in keinem Fall mit dem interferieren, was vorher gelernt wurde. Ein Student versucht beim allerersten Erfahren den Lehrstoff durch logische mentale Modelle zu verinnerlichen. Wird jener Student durch ein neues Trainingskonzept dermaßen irritiert, sodass er beginnt, das vorher Gelernte in Frage zu stellen, und/oder gar aus den beiden Darstellungen komplett falsche Schlüsse zu ziehen, so spricht man von einem **negativen Transfer**. Dieser muss natürlich im Training möglichst vermieden werden. Es gilt weiters auch zu untersuchen, ob sich Flugschüler mit einer neuen Methodik womöglich schlechte Angewohnheiten "antrainiert", die später nur schwer wieder korrigiert werden können.

Bedenken reichen sogar soweit, dass mancherorts befürchtet wird, Flugschüler könnten sogar in die Gefahr laufen, nach langjähriger, übermäßig intensiver Beschäftigung mit PC-EFS, die dort angewöhnte virtuelle Realität quasi als Wahrnehmungs-Referenz festzulegen und später reale Wahrnehmungs-



Erfahrungen im Flug (Reaktionen des Flugzeugs, Wetters, Empfinden der Umgebung) als Abnormalität zu (miss-)interpretieren.<sup>43</sup>

So sollten die neuen Trainings-Methoden möglichst mit vorher Gelerntem konform gehen, jenes bestätigen und darüber hinaus die mentalen Abbildungen des Lehrstoffes festigen. Diese Eigenschaft wird **positiver Transfer** genannt.

---

<sup>43</sup> vgl. Armstrong, Steve (2001).

## 5 Evaluierung des Microsoft Flight Simulators

Dieses Kapitel widmet sich der Untersuchung, ob der Microsoft Flight Simulator als PC-EFS didaktischen Mehrwert besitzt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden Bestätigungen und Widerlegungen des didaktischen Potentials nach den möglichen Trainings-Szenarios gruppiert.

### 5.1 PC-EFS als Ersatz für die Flugschule beim Lernen der "Basic-Flying-Skills"

Hierbei stellt sich die Frage, ob allein durch das Training mit PC-EFS die Grundfähigkeit, ein Flugzeug zu fliegen, erlernt werden kann. Diese "Basic-Flying-Skills", - so, wie sie im Fachjargon heißen - beinhalten das Erlernen der grundsätzlichen Fähigkeit, ein Flugzeug zu steuern. Dies gehört wahrhaft zu den fundamentalsten Fähigkeiten, die ein Pilot für den Erhalt des Flugscheins erwerben muss, und wird in der Regel einzig durch Praxis-Flugstunden mit einem Fluglehrer erworben. Dabei zeichnet sich eine sensible, interaktive Wechselwirkung zwischen Pilot und Flugzeug ab. Der Pilot tätigt Steuereingaben, erkennt die darauf folgende Reaktion des Flugzeugs, interpretiert diese korrekt, und führt gegebenenfalls Steuer-Korrekturen oder neue Steuer-Manöver aus.

Hier ergab die Analyse, dass der Einsatz des Microsoft Flight Simulators hierfür größtenteils ungeeignet ist, sogar in manch speziellen Fällen negativen Transfer verursachen kann. Aus diversen Beobachtungen ging hervor, dass zwar PC-EFS-Software den Erwerb von Grund-Flugfähigkeiten suggeriert, beim Wechsel in ein echtes Cockpit waren - bedingt durch einen stark auftretenden Kontext-Transfer - jene Fähigkeiten mental plötzlich oft nicht mehr abrufbar. Dafür sind im Wesentlichen 4 Faktoren verantwortlich:

#### 5.1.1 Die mangelnde Genauigkeit der Steuereingaben

Um das Verhalten eines Flugzeuges genau wiedergeben zu können, bedarf es Steuereingaben, die mit den gleichen mechanischen Prinzipien auf die Steuerflächen des Luftfahrzeugs wirken, wie beim echten Flugzeug. Hier ist der PC-EFS abhängig von einem Drittanbieter-Joystick. Jene Joysticks müssen allerdings den analogen Steuerimpuls des Piloten in ein digitales Signal

übersetzen, welches dann wiederum über diverse Hardware-Interfaces zur Simulator-Software gelangen muss. Der Weg des Steuerimpulses zum virtuellen Flugzeug ist also diversen potentiellen Fehler- und Störquellen ausgesetzt, die die Präzision des Steuersignals negativ beeinflussen könnte. Hier ist der Realismus der Simulation vollständig abhängig von der Qualitäts-Güte eines Drittanbieter-Joysticks. Bei vielen dieser Joysticks wurden aus Kostengründen mechanische Eigenschaften eingespart, die allerdings wichtig für das korrekte Empfinden beim Steuern eines Flugzeugs sind. Somit kann niemals die aerodynamische Reaktion des Luftfahrzeugs bei Betätigung des Steuerhorns korrekt wieder geben werden. Beispielsweise ist bei den meisten, am Massenmarkt erhältlichen Steuerhörnern, der Grad des Bewegungsraumes der Steuerausschläge eingeschränkter, als beim Original und verhindert somit ein authentisches Steuergefühl. Zur Veranschaulichung dieses Beispiels sei hier die Cessna 172 erwähnt. Der Bewegungsspielraum des Horns für den vollen Querruder-Ausschlag in eine Richtung beträgt 60 Grad. Der Bewegungsweg zum Betätigen des Höhenruders beträgt in etwa 15 Zentimeter. Ein gebräuchliches Steuerhorn zur Steuerung von PC-EFS bringt es hier nur auf 45 Grad Querruderausschlag und zirka 8 cm Bewegungsweg fürs Höhenruder<sup>44</sup> (Siehe Abb 5.1.A und Abb 5.1.B).

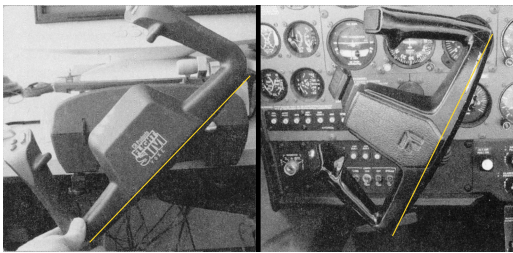


Abb 5.1.A Vergleich der Bewegungsbereiche eines Joysticks mit dem Original

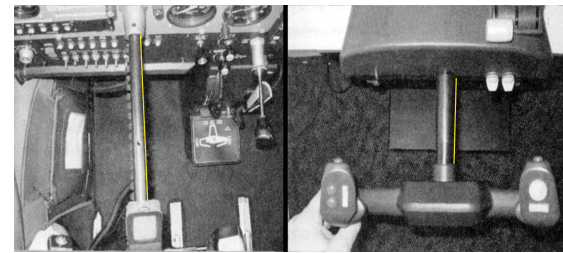


Abb 5.1.B Eingeschränkter Bewegungsbereich beim Höhenruder

Selbst teure, hochwertige Steuerhardware kann beispielsweise eine auftretende Signal-Verzögerung, die bei dem Übertragungsweg vom Potentiometer über den USB-Port und CPU des Rechners zur Simulator-Software auftreten kann, nicht kompensieren. Und selbst unter der hypothetischen Annahme, dass das Signal mit "unverfälschter" Präzision die Betriebssystem-API erreicht, müsste softwareseitig die Eingabe-Hardware nach einer bestimmten Norm perfekt

<sup>44</sup> vgl. Williams, Bruce (2006), S.30.

kalibriert sein. Dadurch, dass man sowohl im Betriebssystem, als auch im Simulator selbst überhaupt die Gelegenheit bekommt, diverse Parameter des Eingabeverhaltens der Steuerhardware (Empfindlichkeit, Hebelweg) dem subjektiven Empfinden anzupassen, wird "per se" verhindert, dass die Steuerung einem Flugzeug genau entsprechen kann. (Nachdem im Simulator noch dazu eine möglichst breite Palette an Flugzeugtypen simuliert werden soll, ist das Zuweisen einer fix vorgegebenen, standardisierten Steuercharakteristik für jedes simulierte Flugzeug unmöglich.) Somit ist hier also die Möglichkeit der Modifikation der Steuereingabe-Empfindung über Software sogar kontraproduktiv. An dieser Stelle sei auf ein relativ "krasses" Fallbeispiel hingewiesen, bei dem sich ein PPL-Pilot in einem Internetblog beklagt, dass er nach langem Spielen der Flugsimulator-Software "Crimson Skies", später Probleme hatte, das - in Relation zur PC-Hardware - wesentlich sensibler reagierende Ruderpedal eines Segelflugzeugs zu bedienen.<sup>45</sup>

Darüber hinaus liefert ein Flugzeug - durch die direkte mechanische Verbindung zu den Steuerflächen - diverse physikalische Kräfte, die auf eine Steuerfläche wirken, an den Piloten zurück. Der Pilot erhält somit ein Feedback über den Flugzustand des Luftfahrzeugs, das sich meist dadurch manifestiert, dass ein Pilot eine gewisse Kraft aufbringen muss, das Steuerhorn oder die Pedale zu bewegen. Je nach aerodynamischer Gegebenheit (Flug-Geschwindigkeit, Schwerpunkt, Trimmung, Propellerströmung) wird der Widerstand beim Bewegen einer Flugsteuerkontrolle mehr oder weniger spürbar sein. Die aus Gründen des Platzes und der Kosten simplifizierte Mechanik jener Joysticks verhindert allerdings eine akkurate und interaktiv veränderliche Krafrückmeldung an die Pilotenhand. Trotz der Versuche, die Steuerkräfte durch Einsatz von Federn oder Gasdruckzylinder halbwegs authentisch zu vermitteln, kann jene "statische" Mechanik niemals das dynamische Verhalten der Kräfte wiedergeben, die auf ein Steuerelement eines Flugzeugs physisch wirken. Teilweise hat man in der Unterhaltungsindustrie versucht, realistische Steuerkräfte zu simulieren, indem Steuerkontrollen über Servomotoren eine Krafrückkoppelung ermöglichten. Aber statt Simulation realistischer zu

---

<sup>45</sup> vgl. Mueller, Volker (2001).

machen, birgt der Einsatz dieser Force-Feedback-Joysticks sogar noch mehr Gefahren. Denn diese Systeme - bei denen oft aus Gründen der niedrigen Kosten, der Programmier- und Konstruktionsaufwand minimiert werden musste - liefern Steuerkräfte meist nur unvollständig oder ungenau wieder und damit kann Kraftfeedback niemals physikalisch präzise wiedergegeben werden. Bei einem ernsthaften Trainings-Szenario könnte sich sogar negativer Transfer bemerkbar machen, wenn beispielsweise eine spürbare Turbulenz am Höhenruder durch falsche Krafteinwirkung am Steuerhorn, einen Flugschüler zu falscher Reaktion verleitet.

Das Fehlen der Kinästhesie verhindert somit generell, ein "Gefühl" für das Steuern eines Flugzeugtyps zu bekommen und dadurch die korrekte Steuerung durch einen Simulator zu erlernen.

Dabei beschränkt sich diese Problematik nicht nur auf die Primär-Flug-Kontrollen. Andere Bedienungselemente, wie Schalter, Hebel, Knöpfe, die bei einem PC-EFS (ohne passende Zusatzhardware) nur mit der Maus bedient werden konnten, müssen in einem realen Cockpit physikalisch bedient werden (Dies ist dort in einer wesentlich intuitiveren Art und Weise möglich - deswegen fällt die Bedienung eines realen Cockpits den Piloten meist auch wesentlich leichter). Durch das Fehlen der Haptik und der mangelnden Wahrnehmung der räumlichen Verteilung jener Bedienelemente in einem PC-EFS, gestaltet sich dann gerade die Umstellung auf das reale Pendant nicht so einfach, als vielleicht angenommen wird.<sup>46</sup>

### **5.1.2 Die Umsetzung des Flugmodells im Simulator**

Das Verhalten des physischen Flugmodells der im Microsoft Flight Simulator simulierten Luftfahrzeuge, wird durch das Kernprogramm der Simulation - die "SimEngine" - beschrieben. Jene berechnet auf Basis von Bewegungs- und Beschleunigungsgleichungen die aerodynamischen Einflüsse, sowie die Schub- und Beschleunigungskräfte, die auf das Flugzeug wirken und setzt die Ergebnisse in Rotations- oder Translations-Anweisungen pro Simulations-Zyklus um. Durch Quaternionen-Transformation wird die Position des

---

<sup>46</sup> vgl. ILS Flighforum.ch (2002a).

Flugzeugs dann ins virtuelle Koordinatensystem umgesetzt. Zur Berechnung der oben genannten Gleichungen werden bestimmte dimensionslose aerodynamische Koeffizienten benötigt. Während die Bewegungsgleichungen an sich dynamisch neu berechnet werden, sind jedoch aus Gründen der Vereinfachung, jene beeinflussenden Koeffizienten meist in fixen Tabellenstrukturen eingetragen. Teilweise wird zwischen einzelnen Koeffizienten linear interpoliert. Bei nichtlinearen Werten werden diskrete Referenzwerte aus den Tabellen genommen.<sup>47</sup>

Somit werden leider nicht alle aerodynamischen und atmosphärischen Einflussfaktoren berücksichtigt. Zwar reichen viele Eigenschaften, was die Leistungsdaten eines Flugzeuges betrifft, wie z.B. der korrekte Treibstoffverbrauch oder Anstellwinkel in Abhängigkeit der Motorleistung, Beladung und Dichtehöhe, oder die verschiedenen Geschwindigkeits-Limits ( $V_{ne}$ ,  $V_{so}$ ) recht nahe an das Original heran, doch einige Variablen, die bestimmte Komponenten eines Luftfahrzeugs beeinflussen, mussten (teilweise bewusst) vernachlässigt werden. Der Grund dafür ist ein Feature des Simulators, der ihn eigentlich erst so attraktiv gemacht hat. Der MS Flight Simulator muss eine hohe Quantität an Luftfahrzeugstypen simulieren, aber dabei auch ein gewisse Rückwärts-Kompatibilität wahren, sodass sicher gestellt ist, dass alte Addons mit neuen Simulator-Versionen funktionieren. So müssen viele Teil-Komponenten, deren kompletter Neuentwurf die einzige Möglichkeit wäre, sie realistischer zu gestalten, nur in einer leicht angepassten Form in eine neue Simulator-Version übernommen werden. Weitere notwendige Vereinfachungen finden sich bei der Berechnung der Beschleunigung und der Gravitation unter der Annahme, die Erde sei eine flache Ebene, und durch die fehlende Implementierung der "Cross-Inertia" - Faktoren. Weiters mussten wegen der numerischen Instabilität der SimEngine, Defizite bei der Modellierung von strukturellem Schaden und dessen Beeinflussung auf das Flugverhalten hingenommen werden.<sup>48</sup>

---

<sup>47</sup> vgl. Zyskowski, Michael (2003).

<sup>48</sup> vgl. Zyskowski, Michael (2003).

Auch dynamische Einflussfaktoren, wie Windscherungen und Turbulenzen, die meist nur in Nuancen die Steuercharakteristik eines Flugzeuges beeinflussen, werden in der aktuellen Version des Flight Simulators nach wie vor ungenügend simuliert. Hier sind Simulatoren, wie X-Plane, die ein dynamisches Flugmodell und auch dessen Einflussfaktoren in Echtzeit berechnet, wesentlich genauer.

### **5.1.3 Mangelnde Empfindung der Bewegung im Raum**

Der dritte Hemm-Faktor ist das komplette Fehlen der Empfindung, dass sich ein Luftfahrzeug durch den Raum (und um alle 3 Bewegungs-Achsen) bewegt. Durch die sensorischen Reize, die ein Pilot bei Manövern, wie beispielsweise das Ein- oder Ausleiten von Sink- und Steigflügen, das Abfangen des Flugzeugs kurz vor der Landung, oder Einflüsse wie Turbulenzen übermittelt bekommt, weiß er intuitiv, wie er durch gezielte Steuereingaben (gegen-)kompensieren muss. Anders, als in Full Flight Simulatoren, die als einziger Trainingstyp solche Bewegungen realistisch vermitteln können, kann ein PC-EFS lediglich über den Monitor Hinweise auf derartige Bewegungs-Einflüsse liefern. Das Substitut von sensorischen Reizen durch visuelle Stimuli ist aber für die korrekte Aneignung des Gefühls für ein Flugzeug ungenügend und lerntechnisch im schlimmsten Fall sogar mit negativem Transfer verbunden. Beobachtungen ergaben hier, dass das fehlende Empfinden von Bewegungen im Raum bei intensivem Vor-Training mit PC-EFS, Pilotenschüler später beim ersten echten Flug oftmals sogar verunsichert, wenn sie das erste Mal mit extern verursachten Bewegungseinflüssen (wie z.B. das Empfinden von Turbulenzen) konfrontiert werden.<sup>49 50</sup>

### **5.1.4 Mangelnde visuelle Bezugspunkte**

Aber auch das Fehlen von visuellen Bezugspunkten kann ein Hemmnis darstellen. Vor allem Personen, die anfänglich nur Flüge mit PC-Simulatoren absolvierten und dann erstmals Erfahrungen im realen Cockpit sammelten, berichteten von anfänglich starken Orientierungsproblemen. Durch diese Irritationen kam es bei jenen Personen sogar oft zu Hemmungen, vorher angeeignete mentale Modelle zur elementaren Flugsteuerung im echten

---

<sup>49</sup> vgl. Mueller, Volker (2001).

<sup>50</sup> vgl. Armstrong, Steve (2001).

Flugzeug anzuwenden. Der Grund dafür ist die komplett veränderte perspektivische Wahrnehmung der Instrumente und der Umgebung - schon allein bedingt durch die komplett anderen Größenverhältnisse eines echten Cockpits. Ein PC-EFS-Pilot nimmt sowohl das Instrumenten-Panel, als auch das Fenster zur Außensicht über eine kleine 2D-Fläche - das Monitorbild - wahr. Diese Darstellungsfläche gewährt nur ein sehr eingeschränktes, fixes Blickfeld. Dabei muss nicht selten auch die Repräsentation eines Cockpits im PC-EFS (gezwungenermaßen) für die Betrachtung am PC-Schirm optimiert werden, sodass die Anordnung und Position der einzelnen Instrumente vom Original abweichen muss. Und noch ein weiteres Problem der Wahrnehmung entsteht durch die spatial eng nebeneinander liegende Anordnung der Repräsentationen von Außensicht und Cockpit auf einem Monitor. Da sich das virtuelle Instrumentenbrett und die Außensicht in derselben physischen Entfernung zum betrachtenden Auge befinden, muss jenes während dem Training mit dem PC-EFS kaum neu fokussieren. In einem realen Cockpit ist man quasi in die Umgebung "integriert". Die Blickrichtung beeinflusst, was gesehen wird. Da nun das Instrumentenbrett wesentlich näher zum Betrachter liegt als die Außensicht, muss das Auge erst geschult werden, ständig neu zu fokussieren. In einem PC-EFS wird durch die Blickfeldeinschränkung bei der Darstellung der Außensicht meist nur ein Blick nach vorne möglich. In einem echten Cockpit ist jedoch meist ein Blick in (fast) alle Richtungen möglich. Auch die teilweise komplett unterschiedliche Position der einzelnen Bedienelemente und Instrumente in Relation zum virtuellen Pendant, ist ein nicht wegzudenkender Faktor. Dies bedingt eine signifikante mentale Umstellung der perspektivischen Wahrnehmung und ist ein nicht zu unterschätzender Faktor bei der Schulung auf einen realen Flugzeugtyp. In diesem Zusammenhang sei auch das Phänomen von "Panel-Fixation" erwähnt. Bruce Williams - der nebenbei auch als Fluglehrer arbeitet - berichtet in seinem Buch "Microsoft Flight Simulator as a trainings aid", dass einige seiner Flugschüler, die vor den ersten Flugstunden lange Zeit nur den Flugsimulator benutzten, anfänglich mit diesem Seiteneffekt zu kämpfen hatten. Tatsächlich scheinen PC-EFS hierbei zu verleiten, sich bei Basis-Flug-Manövern viel zu sehr auf die Instrumente, wie ein HSI oder VSI zu



verlassen. So richtet sich der Blick der Flugschüler bei den ersten Grund-Manövern im echten Cockpit meist ausschließlich auf das Instrumentenbrett, da es der einzige Referenzpunkt darzustellen scheint, der im Simulator ähnlich abgebildet ist. Die meisten Flugmanöver sollten allerdings unter Zuhilfenahme visueller Anhaltspunkte geflogen werden. So bedarf es sogar schon bei Manövern, wie das simple Fliegen einer Kurve, einer genauen Beobachtung des umgebenden Luftraums (Fliegen nach Sicht, Kollisionsvermeidung mit anderem Verkehr). Flugschülern, die unter "Panel-Fixation" leiden, muss im Nachhinein wieder beigebracht werden, dass die meisten Basisflug-Manöver explizit mittels Beobachtung der Umgebung durchführbar sind.<sup>51</sup>

Resümierend kann man zusammenfassen, dass man mit einem PC-EFS sehr wohl das generelle Basis-Konzept der Flug-Steuerung und dessen Beeinflussung auf die Fluglage verstehen lernen kann. Allerdings muss man sich im Klaren sein, dass hierbei trotzdem meist nur Teilaspekte der Flug-Prinzipien erfahren werden können, jedoch kein Beherrschen des Flugzeugs garantiert werden kann. So bestätigen die meisten PPL-Piloten, die vor ihrer Ausbildung auch Erfahrungen allein mittels PC-EFS sammelten, dass das erfolgreiche Meistern von Manövern, wie zum Beispiel eine Landung nicht möglich sei, wenn man sich allein auf das Training mit einem PC-EFS verlassen würde.<sup>52</sup> Aber auch ein Gefühl mit dem Umgang von kritischen Manövern, wie Trudelflug, Abfangen eines Strömungsabrisses, Seitenwindanflüge oder der Start mit verschiedenen Gewichts- und Beladungs-Konfigurationen kann durch alleiniges Training mit PC-EFS nicht erworben werden.<sup>53</sup> Dazu ist die Simulation von Attributen, wie Bewegung, Steuereingaben und dessen Feedback zum Piloten in PC-EFS unzureichend.

## **5.2 PC-EFS als Trainingshilfe bei Instrumentenflug-Manövern**

Die nicht immer optimalen Wetter- und Sicht-Bedingungen lassen oft kein Orientieren oder Navigieren nach visuellen Bezugspunkten, die in der umgebenden Landschaft zu finden sind, zu. Tritt dieser Fall ein, muss ein Pilot

---

<sup>51</sup> vgl. Williams, Bruce (2006), S.40.

<sup>52</sup> vgl. ILS Flighforum.ch (2002b).

<sup>53</sup> vgl. Armstrong, Steve (2001).

fähig sein, den Flug - nur unter Zuhilfenahme seiner Instrumente im Cockpit - fortzuführen. Dazu bedarf es einer extra Ausbildung - dem so genannten IFR-Rating (IFR: "Instrument Flight Rules"). Hierbei lernt der Pilot, wie er seine geographische Position und Fluglage nur anhand der Instrumenten-Anzeigen erkennt und daraus die korrekten Flugmanöver ableitet. Viele dieser Flugmanöver verlaufen nach fix festgelegten Standards, die bei einem IFR-Kurs Schritt für Schritt - sowohl unter Zuhilfenahme eines Simulators (wie z.B. ein PCATD), als auch durch ein gewisses Maß an Praxis-Flugstunden erlernt werden können. Dabei spielt mentale Vorbereitung eine der wichtigsten Rollen. Man muss sich den Verlauf eines jeden Manövers bereits vor dem Flug komplett visuell vorstellen können, um später, während des Manövers genau zu wissen, welchen Flugweg ein Flugzeug beschreibt. Ein großer Teil der IFR-Ausbildung beschäftigt sich mit dem Erlernen der schnellen und korrekten Interpretation sämtlicher Anzeige-Kombinationen der Instrumente.

Durch das - oftmals komplette - Fehlen von konkreten, sinnlichen Bezugspunkten zur Orientierung, erzwingt das Fliegen in IFR-Bedingungen von vornherein eine komplette mentale Umstellung auf eine wesentlich abstraktere Methodik der Wahrnehmung und Interpretation. Untersuchungen seitens der Luftfahrtbehörden ergaben, dass beim Training für die Interpretation der Instrumente deswegen nicht unbedingt das Original-Cockpit eines bestimmten Luftfahrzeugtyps notwendig ist. Das bedeutet, dass bei der Repräsentation von Instrumenten, die zu einem IFR-Flug notwendig sind, das zugrunde liegende Darstellungsmedium hier ausnahmsweise eine untergeordnete Rolle spielt und sogar einen gewissen Toleranzbereich des Abstraktionsgrades bei der Darstellung erlaubt, ohne dass es zu Lern-Irritationen oder negativem Transfer kommt. Die wichtigste Voraussetzung für ein effektives Training ist hier stets die korrekte Funktionsweise der einzelnen Instrumenten-Darstellungen und deren annähernd korrekte, räumliche Anordnung in Relation zueinander.

Dies ist eines der wenigen Trainings-Szenarios in der Flugausbildung, wo das bewusste Umdenken des Piloten und die damit einhergehende Neueinstellung auf eine andere Darstellungsweise als wesentliches Trainingsziel gutgeheißen wird. Deswegen ist das Training auf PC-basierenden Simulatoren für die IFR-

Berechtigung relativ weit verbreitet. Genau aus denselben Gründen hat der Einsatz eines PC-EFS, hier sehr wohl ein hohes didaktisches Potential.

Gerade im Anfangs-Stadium einer IFR-Schulung bietet der Microsoft Flight Simulator die Möglichkeit, dass sich Flugschüler erstmals mit der Darstellung der Instrumente und deren Funktionsweise vertraut machen können. Konzeptionelle Funktions-Prinzipien, die in den ersten Lehreinheiten eines IFR-Kurses in der Theorie gelehrt werden, können durch das begleitende Nutzen eines PC-EFS besser veranschaulicht werden, sodass - seitens des Flugschülers - schneller ein Bezug zur Praxis hergestellt werden kann. Somit ist ein PC-EFS das optimale Werkzeug zum Vor-Lernen, sowie zur Eingewöhnung mit dem Umgang der Fluginstrumentierung. Aber nicht nur angehende IFR-Piloten profitieren vom Gebrauch - auch Piloten, die nur eine Sichtflugausbildung besitzen, können durch das Training mit PC-EFS ihr Know-How um fundamentale Instrumenten-Flug-Konzepte ergänzen. Beim Instrumentenflugtraining gibt es viele Teil-Konzepte, die durch den Einsatz mit PC-EFS trainiert und gefördert werden können.

Als einer der essentiellsten Punkte beim IFR-Training gilt das Erlernen einer effizienten Ablese-Praktik der Basisinstrumente ("Basic Attitude Instrument Flying"). Die meisten Standard-Cockpits der Leichtflugzeuge im Microsoft Flight Simulator bieten eine korrekte Anordnung der benötigten Basisinstrumente. Somit lässt der PC-EFS das Verbessern der Fähigkeiten im Bereich Instrumenten-Scan-Technik (wie, beispielsweise der berühmte "T-Scan") zu.<sup>54</sup>

55

Aber auch das Training der Verhaltensweise, bei einem Ausfall eines, oder mehrerer Instrumente, ist möglich. In dem Fall muss der Flugschüler lernen, den Defekt zu erkennen und den Flug anhand der vorhandenen, funktionstüchtigen Instrumente sicher fortzuführen. Im Microsoft Flight Simulator lassen sich dazu explizit Cockpit-Instrumente abdecken. Zudem kann man im Simulator einen Defekt der Funktion eines Instruments - zeitgesteuert oder "ad hoc" - auslösen.

---

<sup>54</sup> vgl. Mueller, Volker (2001).

<sup>55</sup> vgl. Cooke, Zach (2001).



Abb 5.2.A Simulierter Ausfall des Attitude-Indicator im Flug

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, kann der Einsatz eines PC-EFS dort effektiv sein, wo das Vor-Lernen oder eine mentale Vorbereitung eine wichtige Rolle spielt. Für das Fliegen von präzisen Warte-Schleifen ("Holding Patterns") ist beispielsweise zum Großteil mentales Training notwendig. Es bedarf hier eines guten zeitlichen Timings der einzelnen Flug-Abschnitte unter der gleichzeitigen Beobachtung aller Basis-Flug- und Navigations-Instrumente. Eine Anforderung, die leichter gemeistert werden kann, wenn der Pilot vorher jene Abläufe im Cockpit mental durchspielen konnte. Dieses "mentale Durchspielen" kann unter Zuhilfenahme des Microsoft Flight Simulators sehr gut praktiziert werden.<sup>56</sup>

Mit denselben Bedingungen findet man sich aber nicht nur beim Fliegen von Warte-Schleifen konfrontiert - diese lassen sich generell bei den meisten IFR-Flugmanövern beobachten. So sind viele Piloten überzeugt, dass der Einsatz des Microsoft Flight Simulators sowohl das Eingewöhnen, als auch das Basis-Verständnis beim IFR-Training der geläufigen Navigationsprozeduren fördert.<sup>57</sup> <sup>58</sup> Dazu gehören Aufgaben, wie Standard Anflugverfahren (Basic ILS-Training) inklusive spezieller Einflug-Taktiken (Procedure Turns), aber auch Radionavigationsverfahren, wie, VOR-Navigation oder NDB-Navigation. Das Training von - durch VOR-Navigation unterstützten - Flugmanövern, wie

<sup>56</sup> vgl. Williams, Bruce (2006), Kapitel 2.

<sup>57</sup> vgl. Xing, Kai (2001).

<sup>58</sup> vgl. Williams, Bruce (2007).

beispielsweise das korrekte Anschneiden eines VOR-Radials (Radial-Interception), lässt sich in der Regel in Teil-Aufgaben zerlegen, die wiederum komplett in PC-EFS praktizierbar sind. Diese Teil-Aufgaben umfassen unter anderem die korrekte Interpretation der Navigationsanzeige, wie beispielsweise den VOR-Indikator, HSI oder RMI, das korrekte Einstellen jener Navigations-Instrumente und das Anpassen des Kompass-Kurses des Flugzeugs. Jede dieser Teilaufgaben beeinflusst die jeweils anderen Aufgaben in direkter Weise. Gerade aber der Umstand, dass jene Teil-Aufgaben einem höheren Abstraktionsgrad zugrunde liegen, ermöglicht erst den bedenkenlosen Trainings-Einsatz eines PC-EFS. Das Beherrschen jener Manöver, die durch subjektive Empfindungen beeinflusst werden, und deren Training im PC-EFS als problematisch gelten (wie das korrekte Steuern eines Flugzeuges), wird zwar vorausgesetzt, ist aber als essentielles Kriterium zum Erreichen des eigentlichen Trainings-Zieles an sich, hier nicht mehr notwendig. So gehört zu fast jedem IFR-Manöver das Fliegen eines oder mehrerer vorgegebener Kompass-Kurse. Man setzt nun aber voraus, dass ein Flugschüler den Kurven-Flug bereits beherrscht, um das korrekte Eindrehen, Abdrehen oder Beibehalten eines dieser Kurse zu gewährleisten.

Konkret sind folgende Fähigkeiten als wichtigste Schlüssel-Merkmale für die Beherrschung eines typischen VOR-Navigations-Manöver notwendig:<sup>59</sup>

- Das Auffinden und Interpretieren der wichtigsten Informationen über ein VOR-Funkfeuer auf einer Navigations-Karte
- Das Einstellen der korrekten VOR-Frequenz in den - im Flugzeug befindlichen - Navigations-Empfänger und die Verifikation des korrekten Signals
- Das Feststellen der eigenen Position in Relation zum Funkfeuer
- Das Fliegen zu festgelegten Positionen anhand von Kreuzpeilungs-Verfahren
- Anschneiden und Verfolgen von Radialen, die zu, oder weg von einem VOR führen

---

<sup>59</sup> vgl. Williams, Bruce (2006), S.191.

Alle dafür notwendigen Komponenten - der Kompass, der VOR-Indikator und das Frequenz-Eingabe-Bedienfeld sind im Microsoft Flight Simulator implementiert und entsprechen der Funktionsweise des realen Vorbildes.

Um den didaktischen Gehalt des PC-EFS beim Training eines solchen Navigationsmanövers zu veranschaulichen, soll hier im Folgenden das Protokoll eines im PC-EFS nachgestellten Trainings-Szenarios beschrieben werden.

### 5.2.1 Trainings-Szenario - VOR-Navigation:

Als Trainings-Ziel soll das korrekte Anschneiden und Verfolgen eines VOR-Radials mit anschließender Identifikation des Überflugs eines Pflichtmeldepunktes festgelegt werden. Im Lehrbuch "Instrument Commercial Manual" von Jeppesen findet sich im Abschnitt 1-45 dazu ein bereits vordefiniertes und repräsentatives Beispiel einer solchen Trainings-Situation. Ebendort befindet sich außerdem ein Navigations-Kartenausschnitt, der sich recht gut als Ausgangspunkt und Referenz des für unsere Zwecke leicht adaptierten Szenarios eignet. Dieses Szenario spiegelt auch ein typisches Beispiel einer Trainings-Situation in der IFR-Schulung wieder.

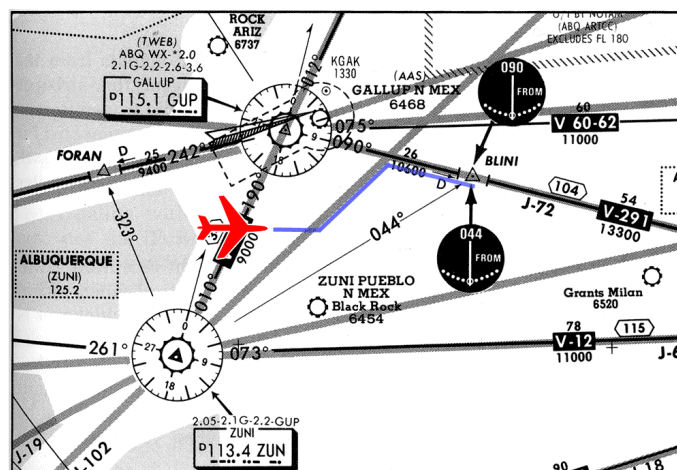


Abb 5.2.B Jeppesen Karten-Ausschnitt des Trainingsgebietes

Wir nehmen an, dass sich unser Flugzeug südlich des Gallup VOR-Funkfeuers befindet (siehe rote Markierung in Abb 5.2.B) Der blau markierte Pfad stellt unseren vordefinierten, virtuellen "Soll-Flugpfad" dar. Erreichen wir den Pflichtmeldepunkt "Blini", so sollten sich die Anzeige unserer beiden VOR-Indikatoren im Simulator mit der in Abb 5.2.B gezeigten, decken. Dann wissen wir, dass wir das Trainingsziel erfüllt haben.





**2. Etappe:**

Nun leiten wir eine Linkskurve auf Kurs 020 ein, um das eingestellte Radial in einem adäquaten Winkel anzuschneiden.



Abb 5.2.F Linkskurve auf Kurs 20, um VOR Radial 90 zu interzeptieren

Nach ein paar Meilen Flug beginnt - wie im realen Vorbild - die CDI-Nadel des ersten VOR-Empfängers von links langsam in die Mitte zu wandern (siehe Abb 5.1.B). Dies ist für uns das Zeichen, auf Kurs 090 einzudrehen.



Abb 5.2.G Kurz vor dem Anschnitt des 090-Radials im Simulator

Nachdem die CDI-Nadel ins Zentrum gewandert ist, drehen wir nach rechts auf Kurs 090 entlang unserem eingestellten VOR-Radials. Das erste Trainings-Ziel ist somit erreicht. Wir setzen den Flug zum Pflichtmeldepunkt "Blini" fort.





Abb 5.2.H Eindrehen auf Radial 90 - (VOR1 CDI wandert ins Zentrum)

### 3. Etappe:

Nun wird auf dem zweiten Navigationsempfänger die Frequenz für die VOR-Station "Zuni" eingestellt. Zudem wird durch das OBS beim zweiten VOR-Indikator das Radial 044 gewählt um den korrekten Kreuzungs-Punkt zu bestimmen, der "Blini" identifiziert. Auch hier wird mit der Maus das Stellen des Frequenz- und des OBS-Einstell-Rades simuliert.

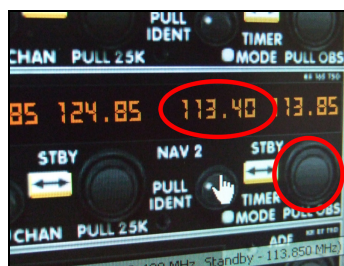


Abb 5.2.I Einstellen des 2. Navigationsempfängers mit der Maus



Abb 5.2.J Radial 044 des Zuni-VORs auf dem zweiten VOR-Empfänger

Kurz bevor der Pflichtmeldepunkt "Blini" erreicht wird, beginnt die CDI-Nadel des 2. VOR-Indikators - wie erwartet - langsam von rechts hin zum Zentrum zu wandern. Auch die TO/FROM-Anzeige zeigt - so wie auf Abb 5.2.B prognostiziert - dass wir uns weg vom Zuni-VOR bewegen.



Abb 5.2.K Kurz vor Erreichen von "Blini"

Kurze Zeit später erreicht auch die CDI-Nadel des zweiten VOR-Empfängers das Zentrum, das andeutet, dass wir "Blini" überfliegen. Die VOR-Anzeigen (siehe Abb 5.2.L) sind total ident mit jenen Anzeigen, die auf Abb 5.2.B gezeigt werden. Somit ist auch das zweite Trainings-Ziel erreicht.



Abb 5.2.L Überflug von "Blini" - Trainings-Ziel erreicht

Obwohl einige Bedienelemente mit der Maus manipuliert werden mussten, war sowohl das Verhalten und die Funktionsweise der Instrumente, als auch die Reihenfolge der im Cockpit durchzuführenden Prozeduren komplett ident mit dem Ablauf im echten Flug.

Desweiteren bieten aktuellere Versionen des Microsoft Flight Simulators die Möglichkeit, das Erreichen des Trainingsziels über den Einsatz eines Fluganalyse-Werkzeugs zu verifizieren. Dieses visualisiert beispielsweise das horizontale und vertikale Flugprofil nach dem getätigten Flug, und lässt somit erkennen, ob der geflogene Flugpfad dem vorher festgelegten Sollwert

entspricht. Der Analyseplot des vorher beschriebenen Fluges würde demnach so aussehen:

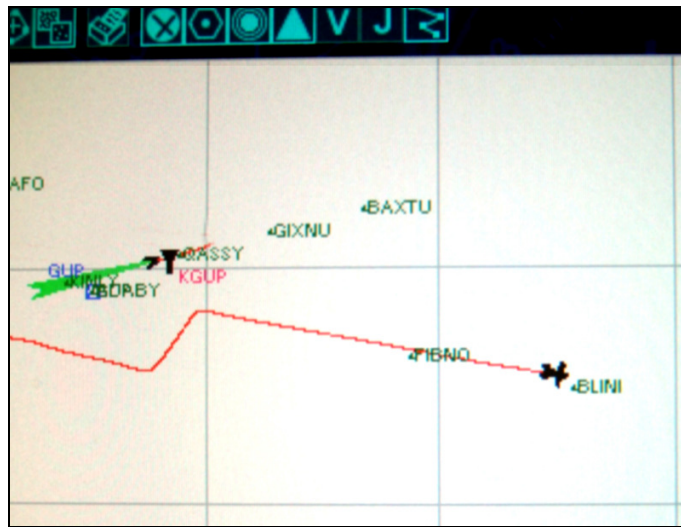


Abb 5.2.M Das Fluganalyse-Werkzeug im Simulator

Hiermit lässt sich durch Vergleich der Karte in Abb 5.2.B auch verifizieren, dass das Trainings-Ziel auch korrekt erfüllt wurde.

Dies ist natürlich nur eine kleine Illustration an möglichen Beispielen für IFR-Training. Welche Vielfalt an Trainings-Szenarios mit dem Microsoft Flight Simulator noch realisierbar ist, zeigt Bruce Williams in dem Buch "Microsoft Flight Simulator as a trainings aid". Über 120 Trainingsflug-Szenarios werden auf der beiliegenden CD-Rom für den Flugsimulator von Microsoft angeboten, die so gut wie alle Bereiche abdecken, und so auch in einem typischen Lehrplan für IFR-Schulung zu finden sind.<sup>60</sup> Die Trainingsmethodik unterscheidet sich hierbei tatsächlich kaum von der eines PCATD.

Durch diese Möglichkeiten können sich Flugschüler - unterstützt durch die "billige" Verfügbarkeit des Simulators - vorab auch optimal auf eine kommende Theorie- oder Praxis-Unterrichts-Einheit vorbereiten und sich somit einen Wissens-Vorsprung verschaffen, was wiederum eine steilere Lernkurve ermöglicht. Auch Piloten, die kurz vor einem Prüfungs-Flug stehen, profitieren von dieser Art mentaler Revision der Prozeduren, zu dem früher das Ressourcen-kritische Anmieten von PCATD's erforderlich war.

<sup>60</sup> vgl. Williams, Bruce (2006), Kapitel 12.

Das beschriebene VOR-Trainings-Szenario offenbart allerdings noch einen weiteren wesentlichen Vorteil des Einsatzes von PC-EFS gegenüber dem Nutzen realer Trainings-Flugstunden. Würde man beispielsweise jene Trainingsaufgabe durch einen echten Flug trainiert wollen, müssten auch alle für einen Flug sonst so notwendigen Aufgaben, wie Vorflugchecks, Start, Funkverkehr und Landung bewältigt werden. Jene Zusatzaufgaben stellen für einen Flugschüler allerdings - gerade am Anfang - oft einen zusätzlichen Stressfaktor dar und erschweren das Konzentrieren auf die eigentliche Kernaufgabe, die oft nur zeitmäßig einen kleinen Teil des Fluges ausmacht. Auch durch Flugverkehr oder Wetter bedingte Einschränkungen zwingen Flugschüler und Lehrer oft zur spontanen Improvisation in der Luft, sodass nicht selten die angestrebte Trainings-Aufgabe dann doch nicht so durchgeführt werden kann, wie ursprünglich geplant. Hier ermöglicht der alternative Einsatz eines PC-EFS, dass der Schüler seinen Fokus optimal auf das eigentliche Trainingsziel behält. Durch die Möglichkeit des virtuellen Übergehens von nicht-relevanten Flugphasen, bzw. der Direktplatzierung des Flugzeugs "vor" die eigentliche Trainings-Situation, bieten PC-EFS im Allgemeinen ein höheres, ergebnis-orientiertes und systematischeres Training, bei dem das eigentliche Trainingsziel viel besser im Auge behalten werden kann.<sup>61</sup>

Es sei allerdings an dieser Stelle auch darauf hingewiesen, dass es im IFR-Training trotzdem einige kleine Einschränkungen gibt. Eine davon manifestiert sich beim Training konkreter Navigations-Verfahren in Kombination mit echten Navigationskarten. Für den Großteil der IFR-Navigationsprozeduren, wie Abflug oder Anflug auf einen Flughafen, benötigt der Flugschüler - als Referenz - Navigations-Karten, auf denen die lokalen Navigations-Einrichtungen (VOR-Funkfeuer, ILS-Landesysteme etc.) verzeichnet sind. Reale Navigationseinrichtungen unterliegen jedoch oftmals Änderungen, sodass Kartenmaterial regelmäßig auf den aktuellen Stand gebracht werden muss. Die Datenbank im PC-EFS, die alle Navigationshilfen beinhaltet, besitzt jedoch keine Möglichkeit des Updates. Die Daten aller Funkfeuer bleiben somit im Simulator auf jenem Stand, der bei seiner Veröffentlichung vorherrschte, und sind

---

<sup>61</sup> vgl. Williams, Bruce (2006), Kapitel 2.

demnach klarerweise nicht aktuell. Somit ist das Trainieren spezifischer, lokal abhängiger Navigationsprozeduren problematisch, da eine reale Prozedur beispielsweise auf einem neu eingeführten Funkfeuer basieren könnte, das im Simulator vielleicht gar nicht existiert. Gerade bei modernen Navigations-Verfahren, wie GPS-basierte Anflüge oder -Abflüge kommt es zu häufigen Informations-Änderungen der einzelnen Wegpunkte. Solche Prozeduren lassen sich somit kaum im Simulator üben. Geht es allerdings um das Verstehen der grundlegenden Prinzipien eines Navigationsverfahren, so wird die Effektivität des PC-EFS als Trainingsmittel dadurch nicht negativ beeinflusst - die grundsätzliche Prozedur des korrekten Anschneidens eines VOR- oder Landeleitstrahles ist hier nicht unbedingt von der Frequenz oder der Position der Navigationseinrichtung abhängig.

Weiters sei erwähnt, dass die für IFR-Training ebenfalls wichtige Vermittlung von Funkkommunikation mit Fluglotsen und anderen Bodenstationen (ATC/ATIS-Mitteilungen) in der - zur Zeit des Verfassens dieser Arbeit - aktuellen Basis-Version des Microsoft Flight Simulators nach wie vor ungenügend präzise implementiert ist. Allerdings gibt es auch hier bereits umfangreiche Software-Addons, die eine Simulation vom Flugfunkverkehr ermöglichen, indem - via Internet - eine Sprachkommunikation mit einer Person ermöglicht wird, die dann die Rolle eines Fluglotsens übernehmen kann.

Zusammenfassend lässt sich also hier feststellen, dass ein PC-EFS beim Instrumentenflugtraining sehr wohl einen didaktisch wertvollen Beitrag leisten kann. Dies wird auch sowohl von Privatpiloten, als auch von Linien-Piloten immer wieder bestätigt.

### **5.3 PC-EFS im Einsatz als PCATD**

Die in Kapitel 5.2 erwähnten Stärken beim Training von Instrumentenflugverfahren, lassen natürlich die Überlegung aufkommen, den Microsoft Flight Simulator als Bestandteil eines PCATD Trainers zu verwenden. Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass die Software alleine von den Luftfahrtbehörden nicht als PCATD zugelassen werden kann, da eine Software nur in Kombination mit spezieller Ein-/Ausgabehardware als PCATD

anerkannt wird. Der Microsoft Flight Simulator ab der Version 10, scheint allerdings alle Kriterien und Anforderungen, die im Dokument "Advisory Circular AC61-126" an den Software-Teil eines PCATD gestellt wurden, weitgehend zu erfüllen (Siehe Kapitel 1.1). Dass es bereits erfolgreiche FAA-Evaluationen gegeben haben muss, beweisen Hersteller von FAA-zugelassenen Flug-Trainings-Geräten, wie "FLYIT" oder "Precision Flight Controls, Inc" bei denen der Microsoft Flight Simulator als Simulationssoftware zum Einsatz kommt (Siehe: <http://www.flyit.com>, am 5.9.08, <http://www.flypfc.com> am 5.9.08). Ab Version 2004 des Flugsimulators gibt es bei den Cockpits einiger Standardflugzeuge spezielle IFR-Darstellungsvarianten, bei dem das Instrumentenbrett - ähnlich wie bei PCATD's - vergrößert und bildschirmfüllend dargestellt wird, sodass Anforderungs-Punkt 2 unter den "Display Requirements" in AC 126-61 (Appendix I) ebenfalls erfüllt ist. Zudem bietet der Microsoft Flight Simulator durch seine relativ offenen Programmschnittstellen die Möglichkeit, verschiedenste Kombinationen von zusätzlicher Eingabe- und Ausgabe-Hardware einzubinden, sodass physische Kontrollen, die als PCATD-tauglich gelten, nahtlos zum Ansprechen des Simulators integriert werden können.

Ungeachtet des Versuchs einer offiziellen Bewertung der FAA-PCATD-Anforderungen, lassen sich mit dem Microsoft Flight Simulator die gleichen IFR-Instrumentenflug-Verfahren trainieren, für die vormals nur PCATD's als Trainingsmittel verwendet wurden. Die FAA hat als Leitfaden für IFR-Training eine Sequenz an Standard-IFR-Trainings-Verfahren veröffentlicht. Diese finden sich im frei aus dem Internet beziehbaren "Instrument Flying Handbook" (FAA-H-8083-15), und beschreiben repräsentativ Trainingssituationen, die mit einem PCATD nachvollzogen werden können. Alle diese Trainings-Szenarios können aber auch vollständig und meist ohne qualitative Einschränkung mit dem Microsoft Flight Simulator simuliert werden.

#### 5.4 PC-EFS als Einführung in die Basiskonzepte des Fliegens

Gerade zu Beginn einer Pilotenausbildung, werden Flugschüler mit einer Unzahl neuer Konzepte konfrontiert. Meist kann davon ausgegangen werden, dass der Großteil der angehenden Flugschüler über keine Vorkenntnisse der Bedienung und Funktionsweisen eines Flugzeugs verfügen. Hier kann der Einsatz eines PC-EFS schon vor Beginn der eigentlichen Ausbildung Basiskenntnisse im Verstehen von aerodynamischen Grundprinzipien und der Steuerung vermitteln. Vor allem beim ersten Vertrautmachen mit der Funktionsweise des Fliegens, kann ein PC-EFS gute Hilfe leisten. So kann sich der angehende Flugschüler schon einmal an das Basis-Instrumenten-Layout eines typischen Leicht-Gewicht-Flugzeugs gewöhnen und erkennt eventuell sogar schon allein durch die Methodik von Versuch-und-Irrtum, welche Funktion die einzelnen Instrumenten haben und in welchem Bezug sie stehen. Obwohl der Simulator kein realitätsnahes Steuer-Gefühl eines Flugzeugs wiedergeben kann, so dient er zumindest zur überblicksmäßigen Erfahrung, wie sich das Betätigen von Flug-Steuerungen, wie die Bedienung des Höhenruders, Seitenruders, Querruders, oder dem Leistungshebel auf die Fluglage und das Flugverhalten generell auswirken. Gerade hier verhilft der sonst so verpönte "spielerische" Aspekt, durch den hohen Interaktionsgrad ein sehr schnelles, fundamentales und lerneffizientes Aneignen des Grundverständnisses und somit zu einer sehr steilen, initialen Lernkurve. Flugschüler können sich damit am Anfang ihrer Ausbildung einen nicht unbeachtlichen Vorsprung beim Lernen verschaffen, sodass später einige Bereiche des eigentlichen Lehrganges dann nur mehr als Wiederholung oder Vertiefung des schon vorher Erfahrenen gesehen werden kann. Aus diversen Artikeln und Erfahrungsberichten des im Internet publizierten Flugsimulator-Portals "Flightsim.com" lässt sich entnehmen, dass viele Piloten, die sich nach vormals langjährigem Umgang mit dem Microsoft Flight Simulator letztendlich entschlossen haben, die Privatpilotenlizenz (PPL) zu erwerben, überzeugt sind, sich leichter beim Erlernen der Flugtheorie und der Praxis getan zu haben.<sup>62</sup>

---

<sup>62</sup> vgl. Smith, Nick (2001).

## 5.5 PC-EFS als Lernergänzung während der Grund-Ausbildung

Aber selbst während der Ausbildung kann ein PC-EFS als didaktisch sinnvolle Ergänzung zum traditionellen Lernen mit Büchern oder im Klassenraum dienen. Einem interessierten Flugschüler werden während der Basisausbildung auch oft "Was-wäre-wenn"-Hypothesen durch den Kopf gehen. Bei der theoretischen Ausbildung zum Erlernen der Basisflugmanöver wird der Flugschüler für die Erkennung und Vermeidung unzulässiger Flugzustände oder Konfigurationen sensibilisiert. Gerade hier würde aber eine empirische Lernmethodik, die auf "Versuch-und-Irrtum" basiert, hohen Lerntransfer bieten. PC-EFS geben uns hierzu die einzigartige, interaktive Möglichkeit, Dinge auszuprobieren, mit denen wir in der Realität höchstwahrscheinlich nie konfrontiert werden. Er lässt Experimente zu, die in realer Durchführung viel zu gefährlich - und deswegen nicht zu verantworten wären.<sup>63</sup> Ein Flugschüler könnte somit beispielsweise die Konsequenzen einer zu steilen Kurvenfluglage erleben - in diesem Falle ein oftmals rapider Höhenverlust oder im extremsten Fall ein "Accelerated-Stall". Die im Programm integrierten Zusatz-Tools, wie das im Nachhinein mögliche Betrachten des eigenen Fluges durch ein automatisch aufgezeichnetes Flugvideo oder die Flug-Analyse-Ansicht, die das geflogene Flugprofil darstellt, unterstützen den Flugschüler dabei, etwaige Trainingsfortschritte nachzuweisen oder zu evaluieren. Hier sei allerdings auch davor ausdrücklich gewarnt, dass einige Flugmanöver, wie beispielsweise ein Trudelflug und viele andere Kunstflug-Manöver im Simulator in keinsten Weise dem realen, physikalisch korrekten Verhalten entsprechen. Somit entfällt die Möglichkeit, einen PC-EFS als Entscheidungskriterium zu verwenden, ob ein Manöver in der Realität durchführbar wäre, oder nicht. Manöver, die im Simulator womöglich gelingen (unter bereits von vornherein komplett realitätsfernen Annahmen), sind in der Realität meist nicht in der Weise durchführbar und stellen den Piloten im schlimmsten Fall vor eine ausweglose und lebensgefährliche Situation! Hier bedarf es einer kompetenten und sensiblen Einschätzung, welche Trainings-Manöver im Simulator einen Gewinn an Sicherheitsbewusstsein für das echte Fliegen bringen, und welche die Gefahr

---

<sup>63</sup> vgl. Pope, Bill (2001).



einer Selbstüberschätzung oder das "Wiegen in falscher Sicherheit" erhöhen. Somit ist der Gebrauch eines PC-EFS während der Ausbildung manchmal auch eine heikle Angelegenheit, bei der man stets aufpassen muss, das mögliche Aufkommen eines Negativ-Transfers zu vermeiden. Es ist hier durchaus sinnvoll, die Beabsichtigung des Miteinbeziehens eines PC-EFS in den Ausbildungslehrgang einer qualifizierten Person, wie zum Beispiel dem Fluglehrer, mitzuteilen und gemeinsam Trainingsprozeduren auszuarbeiten, bei denen von vornherein sichergestellt ist, dass sie auch einen didaktischen Mehrwert bringen.

### **5.6 PC-EFS als Trainingsmittel beim Fliegen nach Sicht (VFR-Training)**

Das Fliegen nach VFR (=Visual Flight Rules) ist eines der ersten Dinge, die ein Pilot im Lauf seiner Ausbildung erlernt. Dabei soll sich der Flugschüler die Fähigkeit aneignen, allein durch Zuhilfe- und Bezugnahme visueller Umgebungsmerkmale sich am Boden zu orientieren und dementsprechend sein Flugzeug zum Etappenziel zu navigieren. Bei der Frage, ob sich der Einsatz von PC-EFS beim VFR-Training lohnt, teilen sich die Meinungen der Experten. Hier gibt es genau so viele befürwortende Argumente, wie (gerechtfertigte) Bedenken. Das Haupt-Problem liegt darin, dass die Darstellung der Außensicht mit all ihren geographischen Merkmalen allein nicht automatisch die korrekte Interpretation des Piloten zum Erlangen der Orientierung impliziert. Nachdem das visuelle Erfassen von Dingen sehr vielen subjektiven Einflüssen unterliegt, kommt es gerade beim Erlangen der Orientierung oft zu Irritation und Miss-Interpretationen. Das menschliche "Sehen" und Interpretieren unterliegt keinem Standard. Faktoren, wie die körperliche Verfassung, etwaige psychologisch-, sozial- und kulturell-bedingte Einflüsse prägen die Wahrnehmung eines jeden Menschen individuell. Dem aber noch nicht genug, kann ein und dieselbe Szene, bedingt durch diverse externe Einflüsse, komplett verschieden wahrgenommen werden. Das Luftbild einer Landschaft, kann, je nach Jahreszeit, Tageszeit, aber auch je nach atmosphärischen und meteorologischen Bedingungen in Licht- und Farbgebung komplett unterschiedlich auf den Betrachter wirken. Schon Nuancen einer Änderung in einem jener externen Einflussfaktoren, kann ein komplett anderes

Wahrnehmen der Szenerie bedingen. So haben PPL-Piloten auch oft mit optischen Illusionen, bedingt durch eingeschränkte Sichtweite, Perspektive oder Wetterphänomene zu kämpfen, die wiederum kompensiert werden müssen. All das steht natürlich auch noch in komplexer Wechselwirkung mit den oben erwähnten, subjektiven Empfindungen.

Dies lässt den logischen Schluss zu, dass die virtuelle Repräsentation einer Umgebung - eben unter jenen Einflüssen der Atmosphäre, der aktuellen meteorologischen Situation, sowie der Tages- und Jahreszeit - in Licht und Farbgebung sehr präzise nach dem realen Vorbild simuliert werden müsste, um korrekte und eindeutige Schlussfolgerungen, in der Form "Es sieht so aus - also müsste es das sein" zu gewährleisten. Obwohl der Microsoft Flight Simulator in der Version 10 bereits eine sehr realistische visuelle Darstellung der Umgebung zulässt, ist die genaue Simulation der feinen Wechselwirkung all jener externen wetter- und saisonal-bedingten Einflüsse in all ihren graduellen Nuancen schon aus Komplexitäts- und Performance-Gründen unmöglich. Ein weiteres Problem stellt die Tatsache dar, dass die Darstellung der Regionen in der Basisversion des Simulators zwar prinzipiell unterschiedliche, regional bedingte Basis-Merkmale aufweist, spezifische Landschaftsmerkmale, wie Berge, Straßen, Flüsse und Städte aber oft noch nach wie vor auf generischer Darstellung basieren. Auch die spärliche Boden-Texturierung der Basis-Szenerie früherer Versionen des Microsoft Flight Simulators, stieß bei vielen Piloten auf Kritik, dass eine korrekte Abschätzung von Höhe und Distanz nicht möglich sei. Somit ist ein vernünftiges Training von Orientierung nach Sichtmerkmalen (Generelles VFR-Training) mit einer unmodifizierten Basisversion des Simulators kaum möglich. Gerade aber hier bietet die hohe Erweiterbarkeit des Microsoft Flight Simulators die Möglichkeit einer Gegen-Kompensation. Mittlerweile gibt es Addons für den Simulator, die ein werkseitig vordefiniertes Standard-Szenerie-Gebiet durch zusätzliche qualitative Merkmale aufwerten oder es komplett durch eine detailliertere Darstellung ersetzen. Dabei kommen hier und da sogar die Integration von realen Satellitenbildern und kartographisch genauen Höhendaten des Geländemodells zum Einsatz.



Abb 5.6.A Flug über Salzburg im FSX - Detaillierte Landschaftsdarstellung dank „Austria Professional X“ - Addon (Flugwerk design)

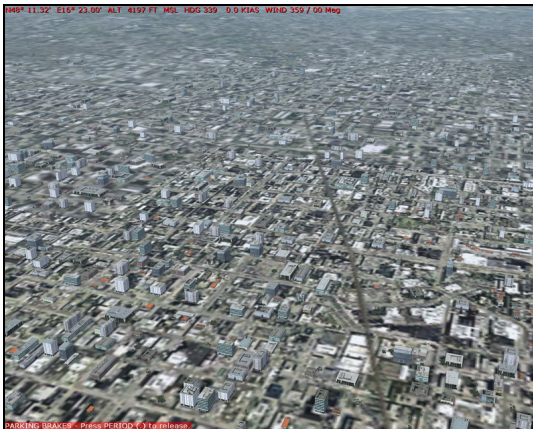


Abb 5.6.B Wien in der Default-Szenerie des FS2004

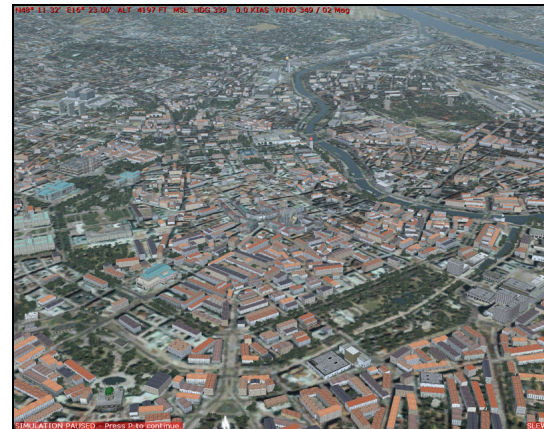


Abb 5.6.C Identischer Blick-Winkel auf Wien mit einem Szenerie-Addon



Abb 5.6.D Eine reale Luftaufnahme zum Vergleich

Betrachtet man eine solche Szenerie durch den Simulator, so scheint die Möglichkeit, zumindest geographische Landschaftsmerkmale als prinzipielle

Orientierungshilfe zu verwenden, gar nicht mehr so undenkbar. In der Realität versuchen Piloten, die nach Sichtflugregeln fliegen, zudem auch jene subjektiv und atmosphärisch bedingten Einflüsse, die wie oben erwähnt, zu Irritationen bei der Orientierung führen können, dadurch zu kompensieren, indem sie versuchen, sich nach bestimmten auffälligen und richtungsweisenden Landschaftsmerkmalen zu orientieren. Ein gutes Beispiel dafür, sind der Verlauf großer Strassen, Eisenbahn-Strecken oder Flüsse, sowie markante, große Gebäude. Solange diese wichtigsten Schlüssel-Merkmale in einem Szenerie-Erweiterungs-Addon in ihrer Position, Größe und Verlauf genau umgesetzt sind, ist zumindest ein annäherndes Vertrautmachen mit einer speziellen Flugroute vor dem realen Flug denkbar.



Abb 5.6.E Luftbild-Ausschnitt von Hawaii in Google Earth



Abb 5.6.F Derselbe Ausschnitt im FSX (Standart-Szenerie)



Abb 5.6.G FSX mit Szenerie-Addon

Es gibt auch beim Fliegen unter VFR-Bedingungen einige Verfahren, die nicht nur ausschließlich auf die Bezugnahme von visuellen Merkmalen basieren, sondern teilweise auch die Bezugnahme auf die Flug-Instrumente erfordern. Dies ist bei Sicht-Flügen der Fall, die Verfahren, wie beispielsweise die Koppelnavigation miteinbeziehen - also das Fliegen, bei denen das Messen der Wegzeiten, Kompasskurse und teilweise auch VOR-Navigation zum Einsatz kommen. Hierbei kann der Einsatz eines PC-EFS vor dem realen Flug tatsächlich wieder eine Art mentale Vorbereitung gewährleisten. Als überzeugendes Beispiel dafür, führt der erfahrene Pilot Rod Machado, die Möglichkeit einer mentalen Vorbereitung für einen Überland-Flug an.



*"Suppose you're a student pilot who wants to prepare for an upcoming cross country flight. [...] Bruce [Williams, Anm. des Autors] suggests first making the actual cross country flight, leg for leg and turn for turn, in the simulated world. The real flight the produces the sensation of deja-flew, resulting in less stress, greater pleasure, and more thorough learning experience."<sup>64</sup>*

Dinge, wie das Messen der Zeit und das Einhalten von Kompasskursen in einem gewissen Zeitfenster unter Berücksichtigung der Flug-Geschwindigkeit und des Windes, sind Aufgaben, die in einem Flugsimulator durchaus realitätsbezogen simuliert werden können. Unter der Voraussetzung, dass der Simulator durch eine adäquate Szenerie-Erweiterung präpariert wurde, sind Phänomene, wie das von Machado angesprochene "deja-flew"-Erlebnis im realen Flug durchaus denkbar.

Desweiteren bietet der Flugsimulator die Möglichkeit der virtuellen Erkundung von Flughäfen, mit deren geographischen Merkmalen - wie die Lage oder der Verlauf der Rollwege und des Vorfelds - man nicht vertraut ist. Unter der Voraussetzung, dass der virtuelle Flughafen detailliert genug dargestellt wird (z.B durch Einsatz einer lokalen Szenerie-Erweiterung) kann der Simulator - als Ergänzung zum Studieren der lokalen "Airport-Charts" - optimal zum Vertrautmachen mit einem Zielflughafen dienen.

---

<sup>64</sup> Williams, Bruce (2006), Seite VII.



Abb 5.6.H Der Flughafen Wien Schwechat, so wie er sich in der FS2004-Standard-Szenerie präsentiert



Abb 5.6.I Wien Schwechat im FS2004 mit dem Austria-Professional-Szenerie-Addon



Abb 5.6.J Luftbild des echten Flughafens

Trotzdem rät der Autor zur Vorsicht, sich generell allzu sehr auf die Authentizität der Außensicht-Darstellung zu Trainingszwecke zu verlassen. Die im Kapitel 5.1 beschriebenen Ursachen der Mängel des Flugsimulators, was die Vermittlung eines authentischen Fluggefühls bei der Steuerung betrifft, zeigen sich nämlich teilweise auch auf diesem Gebiet. Denn bei der grundlegenden Orientierung nach Sichtmerkmalen findet – genauso wie beim Steuern eines Flugzeugs - ein recht komplexer Wechselwirkungsprozess zwischen Pilot und dem „Gesehenen“ statt, bei dem sehr viele Mikro-Faktoren eine Rolle spielen. Es lässt sich also zusammenfassen, dass das Erlernen der korrekten visuellen Interpretation der Umgebung für einen VFR-Flug eher nicht mit PC-EFS trainiert werden kann, da im Moment ein Simulator die hohen qualitativen Anforderungen einer Außensichtdarstellung unter Berücksichtigung aller externen Einflussfaktoren technisch nicht gewährleisten kann und zu sehr von externen Szenerie-Aufwertungs-Modulen anhängig ist. Es bleibt abzuwarten, ob die Entwicklung von neueren Flugsimulator-Versionen mit verbesserter Landschaftsdarstellung in Kombination mit hochqualitativen Szenerie-Addons und adäquater Rechenleistung jemals die Schwelle überschreiten vermag, ab

der das Training von Landschaftsinterpretation zur Orientierung möglich wird. Was allerdings bereits jetzt einen qualitativen Beitrag zum VFR-Training leisten kann, ist die Möglichkeit, gewisse Standard-Manöver, die eng mit dem Sichtflugtraining verknüpft sind, vorab in einem PC-EFS zu üben. Hier sei beispielsweise das Erlernen der Prinzipien einer Flugplatzrunde oder fundamentale Prozeduren bei Koppelnavigation mit oder ohne Einbezug von navigatorischen Hilfen (Funkfeuer) erwähnt.

### **5.7 PC-EFS als Trainer für Handlungsabläufe im Cockpit und CRM-Konzepte**

Im Rahmen einer Ausbildung zum Linienpiloten wird ein Flugschüler mit Trainingskonzepten konfrontiert, die weit über das Basisflugtraining hinausgehen. Um mit der Komplexität der Funktionsweise moderner Airliner umgehen zu können, bedarf es nicht nur eines tiefen Verständnisses aller Systeme und deren Bedienungselemente im Cockpit, sondern darüber hinaus auch Strategien zu einer koordinierten Arbeitsaufteilung aller Handlungsabläufe auf die einzelnen Crewmitglieder. Das Fliegen eines modernen Linien-Jets ist aus Gründen der Komplexität heutzutage nur mehr im Team möglich. Die meisten Handlungsabläufe in diesem Team-Work sind jedoch nicht willkürlich, sondern es gibt hier auch standardisierte Abläufe und regelbasierende Verfahren, die im „Crew Resource Management“ (CRM) zusammengefasst sind. CRM legt je nach auftretender Situation fest, wie die Crew verbal und prozedural in einer festgelegten Reihenfolge reagieren soll. Es dient zur Verbesserung des Führungsverhaltens und der Entscheidungsfindung im Cockpit. Angehende Linienpiloten lernen die Prinzipien des CRM meist in Full-Flight-Simulatoren, da Handlungsabläufe in allen nur denkbaren Ausgangssituationen – sowohl Routine-Verfahren, als auch Verfahren in Notfällen - trainiert werden sollen und dazu das Flugzeug auch in einer ausreichenden Systemtiefe simuliert werden muss. Für das CRM-Training gilt somit eines der höchsten Ansprüche, was den Umfang der simulierten Systeme und deren Bedienung betrifft. Die korrekte Handlungs-Kette bei einem Triebwerksbrand kann beispielsweise nur dann trainiert werden, wenn alle Bedienungen, die zum Korrigieren dieses Zustandes notwendig sind im Simulator implementiert sind, wie zum Beispiel in dem konkreten Fall, die genaue Statusanzeige der

Triebwerke, alle Bedienungselemente zur Triebwerkssteuerung, bzw. Deaktivierung und Reaktivierung, Feuerlöschsysteme, Warnhinweise etc..

Das Training jener Konzepte beschränkt sich aber nicht nur auf die Zeit der Ausbildung. Airline-Piloten durchlaufen in ihrer Karriere regelmäßig so genannte Proficiency-Checks. Diese Checks sollen die Tauglichkeit eines Luftfahrzeugführers zum Weiterführen der Flug-Lizenz überprüfen und finden auch meist in Full-Flight-Simulatoren statt. Bei dieser Art „Lizenz-Erneuerung“ wird u.a. auch verifiziert, ob der Pilot nach wie vor in der Lage ist, Prozeduren in Stresssituationen (wie Notfälle á la Triebwerksversagen, Leck im hydraulischen System etc.) souverän zu meistern. Selbst für erfahrene Piloten, die auf einen langjährigen Berufs-Einsatz zurückblicken dürfen, besteht die Gefahr, gewisse Prozeduren zu verlernen. Das ist auch der Grund, warum selbst kompetente Piloten immer noch solchen Base-Checks nervös entgegenblicken. Um sich auf einen solchen Check vorzubereiten, konnten Piloten bislang lediglich Cardboard-Techniken verwenden oder eine rein mentale Revision jener Prozeduren durchführen. Hier wiederum einen echten Full-Flight-Simulator zu buchen, wäre in den meisten Fällen zu unspontan und kostenaufwändig.

Nun gilt es zu untersuchen, ob es möglich ist, den Microsoft Flight Simulator dahingehend mit Erweiterungen aufzurüsten, sodass mit ihm CRM-Training oder die oben angesprochene Vorbereitung auf etwaige Routine-Checks zur Weiterführung einer Lizenz ermöglicht wird. Einige Addons, die den Flugsimulator um die Simulation zusätzlicher Flugzeugtypen erweitern, erregten durch ihre umfangreiche Implementierung der einzelnen Luftfahrt-Systeme Einiges an Aufsehen. Der Autor untersuchte das Addon-Produkt „Level-D Simulations 767-300ER“ von Flight1-Software, das in vielen Internetportalen und Fachzeitschriften für eines der realistischsten Addons, die es jemals für den Flugsimulator gegeben hat, gehalten wird.

Das Produkt, das der Autor - zwecks Übersichtlichkeit - im Folgenden mit der Abkürzung „LDS767“ bezeichnen möchte, ist derzeit eines der komplexesten Addons für den Microsoft Flugsimulator (ab Version 2004) und zeigt einige beachtliche Merkmale. So wurde beispielsweise LDS767 in enger



Zusammenarbeit mit realen 767-Piloten entwickelt. Piloten konnten somit die Ecksteine für eine realistische Simulation auch schon in den frühen Phasen der Software-Entwicklung aktiv beeinflussen. Das Verhalten der hydraulischen, elektrischen und pneumatischen System-Komponenten sowie das Treibstoffsystem wurden in einer für PC-basierende Simulatoren bislang fast unerreichten Systemtiefe reproduziert. Neben der vollständigen Umsetzung all jener Flugzeug-Systeme, samt ihrer Funktions-Logik und Bedienung, implementiert das Produkt auch Simulation des Kabinendruck-Systems, der Temperatur- und Klima-Regelung im Flugzeug oder der TCAS-Logik (=“Traffic Collision and Avoidance System“). Die Implementierung des kompletten Autopiloten-Systems (AFDS) und des Flug-Management-Computers (FMS) erlaubt die uneingeschränkte Bedienung und Kontrolle aller automatisierten Flugzustände (einschließlich der automatischen Landung) über das Autopiloten-Instrumentenbrett (MCP) oder die voll funktionsfähige FMC-Konsole. Letztere bietet unter anderem Spezialfunktionen, wie spontane Abänderungen des Flugplanes (Diverts), Eingabe von Höhenwind-Prognosen (winds aloft forecast entries), der Eingabe und Modifikation von standardisierten Ab- und Anflug-Verfahren (SIDS/STARS/Approaches), Integration der kompletten VNAV-Logik und die genaue Kalkulation des Cost-Index. Generell herrscht zwischen den Systemen ein hoher Interaktionsgrad, sodass die Bedienung eines Systems – so wie im realen Pendant - das Verhalten anderer Systeme beeinflussen kann.



Abb 5.7.A Das reale Flight-Deck der 767-300



Abb 5.7.B Das virtuelle Cockpit im FS2004

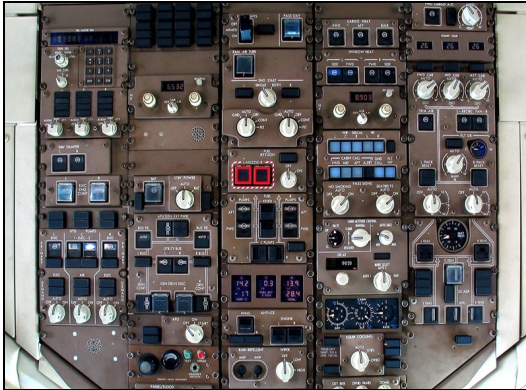


Abb 5.7.C Sicht auf das Overhead-Panel in der echten 767

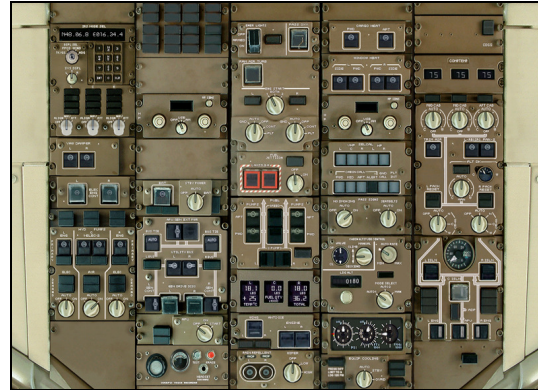


Abb 5.7.D Zum Vergleich das virtuelle Pendant in LDS767

Um den Grad des erfahrbaren Realismus noch weiter zu erhöhen, wurde laut Produkt-Webseite und diverser Handbücher zu dem Addon unter anderem auch der Schwerpunkt auf die möglichst akkurate Modellierung der wichtigsten Flugleistungsdaten während den einzelnen Flugphasen gesetzt. Dazu zählen die realitätsnahen Zahlen für die Schub-Leistungseinstellung, ein authentisches Verhältnis von Treibstoffverbrauch in Relation zum Luftwiderstand oder das gewissenhaft umgesetzte Gewicht-Management beim Beladen und Betanken des Flugzeuges, das - laut Aussagen - sowohl „Load & Balance“-Berechnungen, als auch die Treibstoffberechnung nach realen Kalkulations-Schemata ermöglichen soll. Sogar realitätsnahe Leistungsdaten im Falle des Ausfalls eines Triebwerks werden proklamiert.

Was LDS767 allerdings besonders interessant macht, ist die Möglichkeit, dass Fehlverhalten und Ausfälle einzelner Luftfahrt-Systeme simuliert werden können. Der Autor zählte dazu allein über 170 mögliche Fehler-Szenarios, die durch Fehlfunktion von Teilsystemen ausgelöst werden können.

Der 767-Pilot David Barrington, der dem Software-Team auch schon während der Entwicklung des Produkts seine langjährige Airline-Erfahrung und sein technisches Know-How zur Verfügung stellte, testete LDS767 im Fachmagazin „PC-Pilot“ auch unter anderem auf ein mögliches didaktisches Potential für echte 767-Piloten und fand auch tatsächlich einige überzeugende und bestätigende Argumente.<sup>65</sup> So ist Barrington der Meinung, dass das Addon auf Grund des hohen Grades der simulierten Systemtiefe durchaus in der Lage ist,

<sup>65</sup> vgl. Barrington, David (2005).

eine assistierende Trainings-Basis zu bieten, mit der Piloten gewisse Manöver und Prozeduren üben können, um beispielsweise eben Szenarios vor einem echten Flug - quasi konzeptionell - durchzuspielen. Weiters lobt Barrington die akkurate Umsetzung der Powersettings der Triebwerksleistung in Abhängigkeit zur Geschwindigkeits-/Gewichts-Relation im LDS767-Addon. Dies unterstützt eine schnellere Rekapitulation der korrekten Einstellungen im echten FF-Simulatortraining.

Auch die Tiefe der in LDS767 simulierten System-Fehlverhalten, biete für Piloten - so Barrington - ausreichend Möglichkeiten, sich reaktive Handlungsabläufe anzutrainieren und vor allem mental zu festigen. Jene mentale Vorbereitung komme den Piloten dann bei etwaigen Tests zum Fähigkeitsnachweis, wie beispielsweise ein Base-Check-Simulatorflug, sehr entgegen.

Konkret: Im Falle der Feststellung einer Fehlfunktion des Luftfahrzeuges, gibt es eine nach dem CRM-Konzept eine fix festgelegte Reihenfolge von einzelnen Prozeduren und Bedienungs-Anweisungen, die von Pilot und Co-Pilot sequenziell abgehandelt werden müssen. Diese Prozeduren werden in so genannten Abnormal-Checklisten festgehalten. Das bedeutet, dass jede Fehlfunktion einem gewissen vorgeschriebenen Reaktions-Schema fix zugeordnet ist. Diese helfen unter anderem, etwaige Fehlentscheidungen durch Panik-Reaktionen zu vermeiden und den Piloten zu entlasten. Die Aufgabe des Piloten ist es, nach Erhalt einer Fehlermeldung den gesamten Umfang der Fehlfunktion festzustellen, zu analysieren und die entsprechende Prozedur zum Lösen des Problems auszuwählen und jene sowohl schnell, als auch souverän durchzuführen. Mit LDS767 ist es beispielsweise möglich, nach einer Fehlfunktion, dieselben Abnormal-Checklisten abzuarbeiten, die man im realen Luftfahrzeug verwenden würde. Somit können an Hand der Simulation die konkreten Handlungsabläufe Schritt für Schritt verinnerlicht werden. Dies stärkt die mentale Fitness dahingehend, dass Piloten im Stressfall eines Base-Checks jene verinnerlichteten Handlungsabläufe schneller gedanklich „abrufen“ können.

Zur annähernden Überprüfung dieses Potentials, möchte der Autor folgendes Experiment durchführen: 3 praxisnahe Fallbeispiel-Situationen sollen ausgewählt werden, die jeweils als fixer Bestandteil eines typischen Crew-Trainings gelten. Der Autor simuliert alle 3 Situationen mit LDS767, verwendet allerdings dazu ausschließlich Checklisten und Prozedur-Beschreibungen, die aus einem echten 767-Operation-Manual stammen.<sup>66</sup> Nun soll überprüft werden, ob jene Checklisten vollständig abgehandelt werden können. Zusätzlich werden auch folgende Fragestellungen in die Evaluation miteinbezogen:

- Können alle Handlungen eines einzelnen Checklisten-Schrittes auch im PC-EFS durchgeführt werden (Sind alle Bedienungen, Knöpfe und Anzeigen zum Überprüfen vorhanden)?
- Beeinflusst die einzelne Aktion im Folgezug auch korrekt alle anderen beteiligten Luftfahrt-Systeme?
- Erhält der Pilot auch das erwartete, korrekte Feedback über seine getätigte Aktion?
- Kann die Reihenfolge der Checklistenschritte eingehalten werden?
- Ist jede einzelne Aktion in einem Zeitfenster möglich, so wie es im realen Flug erwartet werden kann?

Als zusätzlichen Bezugspunkt für einen Vergleich des annähernd korrekten Timings, fand auch unter anderem ein Videomitschnitt im Cockpit bei einem echten 767-Flug Verwendung, sowie ein Simulatorflug im Lufthansa-Trainings-Zentrum in Wien-Schwechat. Im folgenden Abschnitt finden sich die Protokolle der 3 Szenarien. Dabei wird nicht nur überprüft, ob die einzelnen Bedienungselemente im virtuellen Cockpit vorhanden und funktional sind (Bilder im linken Bereich), sondern es soll auch analog dazu die unmittelbare Reaktion der beeinflussten Luftfahrzeug-Systeme (ein erwarteter „Soll“-Wert) gezeigt werden (Bilder im rechten Bereich).

---

<sup>66</sup> vgl. LaudaAir 767 POH (1999).

### 5.7.1 Fallbeispiel 1: Starten des APU's

Diese Prozedur wird bei der Vorbereitung des Cockpits für den Flug durchgeführt und ist demnach als Fragment in der Cockpit-Preparation-Checklist aufgeführt.

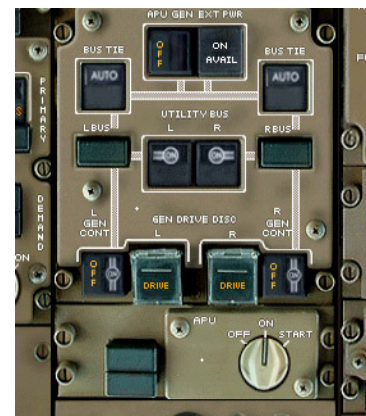
Das untere ECAS-System-Display zeigt an, dass der APU derzeit nicht in Betrieb ist (RPM 0)



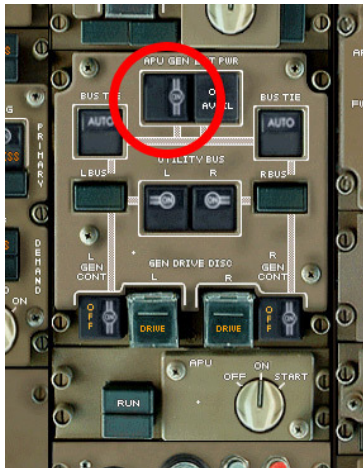
Start der APU-Turbine:

Der APU-Start-Selector wird mit der Maus in die Position „Start“ gedreht

Nach einigen Sekunden springt der APU-Start-Selector – so wie in der echten 767 - automatisch in die Position „ON“. Das Hochlaufen der numerischen RPM- und EGT-Anzeige im unteren ECAS-System-Display zeigt das kontinuierliche Anlaufen der APU-Turbine an.

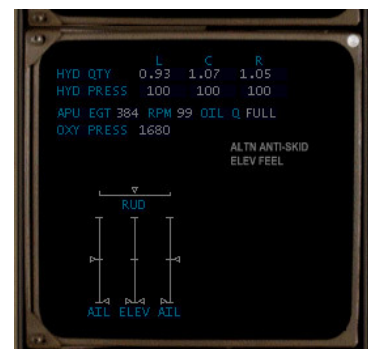




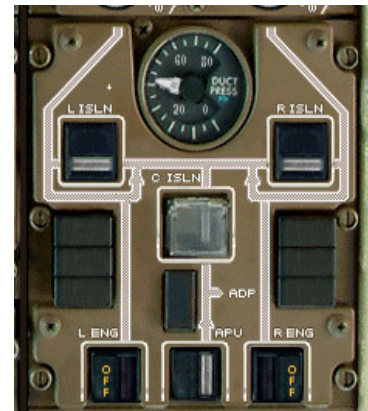


Die APU-Betriebs-Leuchte zeigt mit „RUN“ die Betriebsbereitschaft des APU's an. Nun wird der APU-Generator über Knopfdruck auf „APU GEN“ aktiviert, um Strom in das elektrische System zu speisen. Der Knopf gibt Feedback mit der Beschriftung „ON“. Das kurzfristige Flackern der CRT-Anzeigen im Cockpit zeigt an, dass ein Wechsel der Stromquelle (APU-Generator) stattgefunden hat.

Nun zeigt das EICAS-Display einen stabilisierten, positiv numerischen Wert bei „APU EGT“ und „RPM“ an. Das Indiz, dass der APU ordnungsgemäß läuft.



Desweiteren zeigt nun auch die Duct-Press-Anzeige am Overhead-Panel an, dass Druckluft vom APU in das Pneumatik-System gespeist wird.



### 5.7.2 Fallbeispiel 2: Start eines Triebwerks

Nachdem die Cockpitvorbereitung abgeschlossen ist, folgt meist das Anlassen der Triebwerke. Diese Prozedur erfordert einen recht hohen Interaktionsgrad der Crew – sowohl untereinander, als auch mit dem Beobachten der Anzeigen zur Kontrolle des ordnungsgemäßen Starts des Triebwerks, und dient somit optimal als Evaluations-Szenario für LDS767. Nebenstehend die Original-Checkliste aus dem Lauda Air 767 Operations-Manual, die der Autor zur Abhandlung des Triebwerk-Start-Verfahrens als Referenz verwendet.

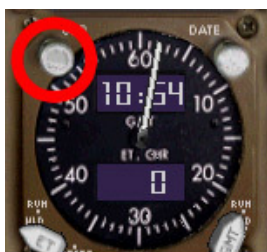
Normal Procedures - Amplified Procedures		A 767 Operations Manual	
<b>Engine Start Procedure</b>			
: The term L (R) engine is used with ground personnel and in the cockpit.			
: The normal start sequence is right then left.			
<b>Captain</b>		<b>First Officer</b>	
: Call "START ___ ENGINE."		Position ___ START selector to GROUND. Push CLOCK switch	
Observe oil pressure increase.			
Position ___ FUEL CONTROL switch to RUN when:			
: <ul style="list-style-type: none"> <li>• at maximum motoring and a minimum of 15% N2</li> <li>• Push CLOCK switch</li> </ul>			
: Monitor engine displays for normal indications until stabilized at idle.			
: Reset CLOCK.:		Reset CLOCK.	
: <b>Note:</b> Maximum motoring speed is reached when N2 acceleration is less than approximately 1% in five seconds.			
: <b>Note:</b> Do not advance thrust beyond that required for taxi until 50°C oil temperature.			
: Monitor engine displays for start parameters listed below until engine is stabilized at idle.:			
: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oil pressure should rise before selecting RUN.</li> <li>• EGT should rise within 20 seconds after selecting RUN.</li> <li>• N1 rotation must increase at EGT rise.</li> <li>• EGT must stay within limits.</li> <li>• N2 should reach idle within two minutes after selecting RUN.</li> </ul>			
: Repeat procedure to start remaining engine.			
: <b>Note:</b> Momentary ENGINE STARTER message may occur on initiation of second engine start.			
NP.20.26		Copyright © The Boeing Company. See title page for details. D632T001-29LAL(LAL) December 15, 1999	

Abb 5.7.E Prozedur für Triebwerksstart



#### Schritt 1: „Start Right Engine“

Der Start-Selector am Overhead-Panel wird auf die Position „GND“ gedreht. (Die Start-Valve-Anzeige leuchtet für eine kurze Zeit auf)



Gleichzeitig wird der Chronometer auf dem Haupt-Instrumentenbrett gestartet.

**Schritt 2: „Observe Oil Pressure Increase“**

Die rechte numerische Anzeige bei „OIL-PRESS“ am unteren EICAS-Display beginnt hochzuzählen. Auch der numerische Wert für N2 zeigt an, dass die Turbine hochzulaufen beginnt.

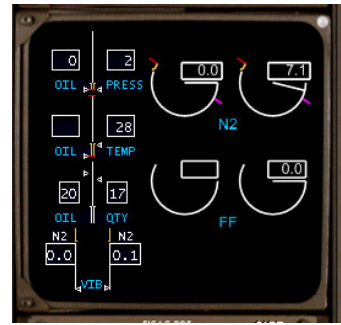
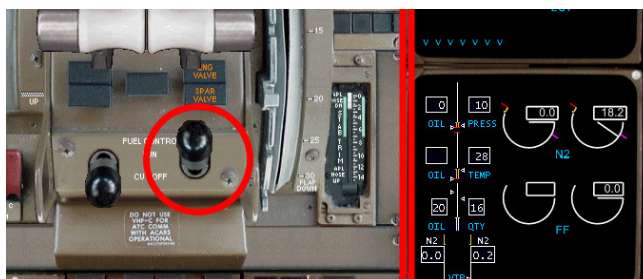


Abb 5.7.F Beobachtung der Triebwerksanzeigen beim Spool-Up

**Schritt 3: „Position Right FUEL CONTROL switch to run“**

Ab 18% N2 wird mit der Maus der Fuel-Control-Switch auf „ON“ gestellt



#### Schritt 4: „Monitor engine display ... until stabilized at idle“

Nachdem der Fuel Control Switch aktiviert worden ist, wird die EGT - Anzeige überprüft, ob sie innerhalb der nächsten 20 Sekunden steigt und im zulässigen Betriebsbereich bleibt.



Auch der N1 Wert steigt, so wie erwartet, mit dem Ansteigen des EGT-Wertes. Nach der Zündung verringert sich der N2-Wert allmählich bis zu einem niedrigen IDLE-Wert. Wie am EICAS erkennbar ist, hat sich das Triebwerk für den Leerlauf stabilisiert. Auch die „R ENG SHUTDOWN“-Nachricht im Status-Bereich des oberen EICAS ist erloschen. Der Elektrik-Bereich am Overhead-Panel zeigt an, dass der rechte Triebwerks-Generator von nun an Strom ins elektrische System speist.



Auch der Starter-Selector springt nach dem erfolgreichen Startvorgang automatisch wieder in die „AUTO“-Position.



#### Schritt 5: „Reset clock“

Der Chronometer wird, wie in der Checkliste angeordnet, zurückgesetzt.

Auch hier sind sämtliche Feedbacks der Systeme auf die entsprechenden Bedienungen vergleichbar mit jenen Reaktionen, so wie sie in der echten 767 vorkommen.

### 5.7.3 Fallbeispiel 3: Triebwerksausfall im Flug

Das 3. Fallbeispiel soll die korrekte Simulation eines abnormalen Flugzustandes in LDS767 belegen.

In diesem Szenario befindet sich die 767 in 12000 Fuß Höhe auf einer regulären Linien-Flugroute zwischen Wien und Salzburg. Über das Fehler-Menü von LDS767 wird nun der Fehler-Generator aktiviert. Dieser soll nach ein paar Minuten Flug ein Flameout des linken Triebwerks triggern.



Nach ca. 2 Minuten-Flugzeit tritt der Event auf. Der N1-Wert geht rapide zurück. Gleichzeitig signalisiert die Master-Caution-Anzeige eine Fehlfunktion. Der obere EICAS-Schirm meldet korrekterweise, dass der linke Generator keinen Strom mehr liefert und dass der Öldruck im linken Triebwerk rapide gefallen ist. Am ADI und HSI lässt sich erkennen, dass das Flugzeug leicht nach rechts zu driften beginnt. Da der Autopilot aktiv ist, wird der entstandene asymmetrische Schub jedoch gegen-kompensiert.



Nach der korrekten Identifizierung des Problems (In dem Fall ein „Engine Failure Number 1“) Wird die entsprechende Abnormal-Checkliste zur Hand genommen und die einzelnen Schritte abgearbeitet.



A  
767 Operations Manual

Non-Normal Checklists -  
Unannunciated Checklists

---

**ENGINE FAILURE OR SHUTDOWN**

OE-LAX - OE-LAZ

Condition: **Engine has failed, engine has flamed out, or when prescribed by another non-normal procedure.**

**AUTOTHROTTLE ARM SWITCH** ..... OFF  
[Autothrottle use not recommended under engine inoperative conditions.]

**THRUST LEVE** ..... CLOSE  
[Assists in recognition of affected engine.]

**Engine conditions permitting, operate at idle for two minutes to allow engine to cool and stabilize.**

**FUEL CONTROL SWITCH** ..... CUT OFF

**APU SELECTOR**  
(If APU available) ..... START, RELEASE TO ON  
[Provides an additional source of electrical power.]

**GROUND PROXIMITY FLAP  
OVERRIDE SWITC** ..... OVRD

**TRANSPONDER MODE SELECTO** ..... TA  
[Prevents climb commands which can exceed single engine performance capability.]

**Plan to land at the nearest suitable airport.**

**If wing anti-ice required**

**PACK CONTROL SELECTOR** (Either) ..... OFF

**ISOLATION SWITCH** (Affected side) ..... ON

**When wing anti-ice no longer required:**

**LEFT AND RIGHT ISOLATION SWITCHE** ..... OFF

**Note: Use flaps 20 and VREF 20 for landing and flaps 5 for go-around.**

**Do not accomplish the following checklist:  
ENGINE SHUTDOWN**

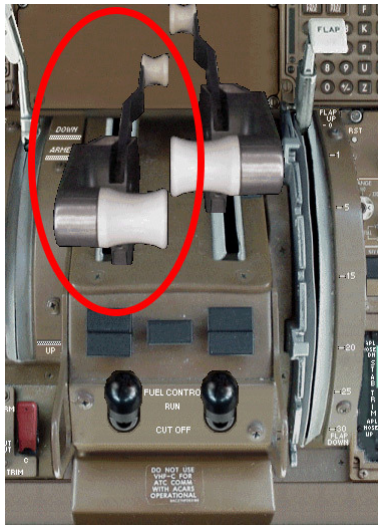
December 15, 1999      Copyright © The Boeing Company. See title page for details.      D632T001-29LAL(LAL)      NNC.0.17

Abb 5.7.G Engine Failure-Prozedur vom LaudaAir  
767 POH



### Schritt 1: „Autothrottle Arm Switch: OFF“

AM MCP wird die automatische Schubregelung mit der Maus deaktiviert. (Ist auch – so wie in echt – über einen Knopf auf den Schubhebeln selbst möglich) Sowohl eine Nachricht am EICAS, als auch eine separate CAS-Leuchte informiert über die Abschaltung mit der Nachricht „A/T DISC“.



### Schritt 2: „Thrust lever: Close“

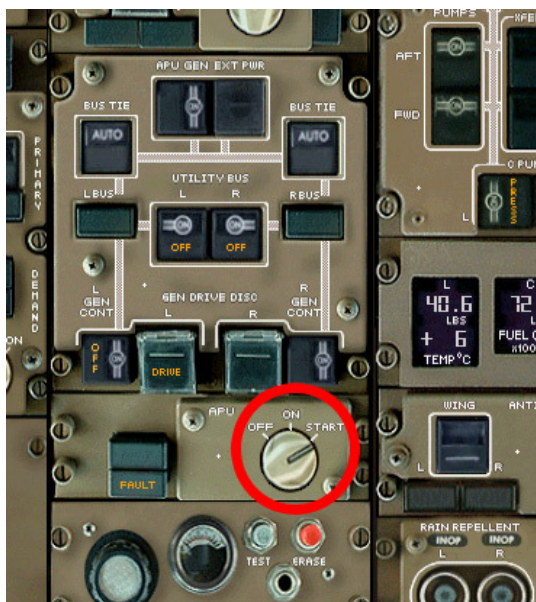
Der betroffene Schubhebel wird beim Pedestal-Panel mit der Maus oder einem Tastaturkommando nach unten auf Leerlaufschub gezogen.



### Schritt 3: „Fuel Control Switch: Cutoff“

Nun wird mit der Maus der Knopf zur Treibstoff-Zuführung abgeschaltet. Das Triebwerk wird heruntergefahren.

Das obere EICAS-Display meldet nun die Nachricht „L ENG SHUTDOWN“



### Schritt 4: „APU Selector: Start“

Der Start-Schalter für den APU wird am Overhead-Panel mit der Maus auf die Position „START“ gedreht. Der APU startet.

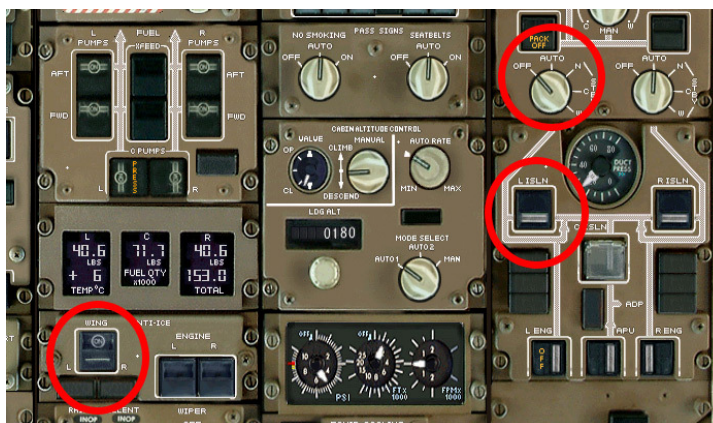
Hier erkennt man auch, dass der linke Triebwerk-Generator durch das Abschalten des Triebwerks eine Fehlfunktion aufweist und somit keinen Strom liefern kann. Ein Beweis, dass LDS767 mit kaskadierten Fehlfunktionen umgehen kann.



### Schritt 5: „Ground Proximity Flap override switch: OVRD“

Der Knopf für das GPWS befindet sich auf dem First-Officer-Panel und zeigt nach der Bedienung mit der Maus die Nachricht „OVRD“. Die akkustische Warnmeldung des GPWS wird nun auch bei LDS767 im Landeanflug unterdrückt.

Desweiteren kann auch der Transponder am Pedestal-Panel mit der Maus auf den Modus TA geschaltet werden



### Schritt 8 (optional): „If wing anti-ice required“

Falls Wing-Anti-Ice verwendet wird, ist auch das Abschalten der Packs und das Aktivieren des ISOLATION SWITCH möglich.





Nach dem letzten abgearbeiteten Checklisten-Punkt wird mit dem Autopiloten der Descend initiiert, um am nächstgelegenen Flughafen (in diesem Fall Linz) zu landen. Eine Alternative wäre der Versuch, das Triebwerk wieder zu starten (Engine In-flight Start). Das Trainings-Ziel an sich wäre jedoch erfüllt – sämtliche Punkte konnten anhand der realen Checkliste für den abnormalen Zustand ohne Einschränkung abgehandelt werden. Auch die Reaktionen der Luftfahrtsysteme und die dementsprechenden Rückmeldungen an den Piloten waren zeitlich synchron und authentisch. Der Autor hofft, dass es gelang (trotz Mangel eines interaktiven Illustrations-Mediums, das einzig und allein zeitliche Relationen überzeugend darstellen hätte können), anhand der Protokolle jener 3 Beispiele, das mögliche Potential für ein mentales Crew-Training halbwegs zu veranschaulichen. Natürlich ist es mit LDS767 niemals komplett möglich, CRM-Training in allen Aspekten „simulativ“ durchzuführen. Hier schränkt bereits das zugrunde liegende Hardware-Interface (PC mit Maus und Keyboard als einzige Bedienungs-Eingabemöglichkeit für das Steuern von Cockpit-Funktionen) zu sehr ein. Zum Ersten ist auf dem Monitor meist aus Platzgründen das gesamte

Cockpit – samt seinen, für ein spezielles Verfahren notwendigen Bedienungen und Kontroll-Anzeigen - nicht darstellbar. So müssen simulator-intern die einzelnen Cockpit-Bereiche in separate Sicht-Fenster unterteilt werden, die dann - je nach Bedarf - extra aufgerufen werden können und vorhandene Sichtfenster überlagern. Abhilfe könnte hier der zusätzliche Einsatz eines zweiten oder dritten Monitors schaffen, mit denen man dann die Möglichkeit besitzt, alle Sichtfenster auf die zusätzlich gewonnene Darstellungsfläche spatial aufzuteilen. Die meisten Grafikkarten unterstützen eine solche Funktion. Auch der Microsoft Flight Simulator ermöglicht in den aktuellen Versionen technisch ein solches Feature. Effizientes CRM-Training erfordert allerdings auch, dass beide Crewmitglieder oft gleichzeitig, koordiniert Funktionen im Cockpit bedienen und überprüfen. Nachdem der PC allerdings meist nur die zeitgleiche Eingabe über ein Eingabe-Interface erlaubt (Maus, Tastatur) ist ein paralleles Bedienen verschiedener Cockpit-Bedienungs-Interfaces zur gleichen Zeit mit nur einer Maus unmöglich. Trotz dieser Nachteile könnte sich zumindest ein Crewmitglied auf ein spezielles Verfahren, das später in einem FFS-Training praktiziert werden soll, mental vorbereiten. Denkbar wäre, dass ein Pilot beim Training mit LDS767 zum Beispiel nur all jene Prozeduren durchführt, die später beim Simulator-Check in seinen Aufgabebereich fallen, und jene Aufgaben, die sein Team-Partner durchführen musste - je nach Art des Verfahrens - entweder rein mental ergänzt oder sogar - wenn möglich - von dem in LDS767 inkludierten „virtuellen Kopilot“ durchführen lässt. Aber selbst, wenn hier das Schema von CRM-Koordination nicht präzise anwendbar ist und dadurch der Pilot unter Umständen ein Checklisten-Verfahren im Alleingang abarbeitet, ermöglicht LDS767 einen deutlichen Lern-Profit. Denn, um ein effizientes CRM-Konzept zu ermöglichen, das Verfahren ohne Unsicherheiten in der Rollenverteilung und Risiken von Missverständnissen durchführbar macht, sollte jedes Crewmitglied den gesamten Umfang eines speziellen Verfahrens kennen und somit auch die Rolle des jeweils anderen Partners.

Man muss sich allerdings auch hier im Klaren sein, dass - trotz der Fülle an umgesetzten Funktionen - nicht alle Aspekte eines realen Fluges simuliert werden und es somit keine hundertprozentige Gewähr auf Vollständigkeit aller



Simulations-Szenarios gibt. So erkannte der Autor, dass beispielsweise beim Abarbeiten der Preflight-Procedure-Checkliste des erwähnten LaudaAir 767-POH's einige Systeme bedient und überprüft werden mussten, die in LDS767 nicht implementiert wurden. Diese betraf vorwiegend Systeme zur Beobachtung des Wartungszustandes, die zum größten Teil auf dem so genannten „Accessory-Panel“ (Ein Instrumentenbrett, rechts hinter dem Copilotensitz) zu finden sind. Einige andere Systeme, die zwar prinzipiell bedienbar sind, legen wiederum ein falsches Verhalten an den Tag. So hätte zum Beispiel bei der Cockpitvorbereitung nach Aktivierung der „Yaw-Damper“-Knöpfe während dem IRS-Alignment – laut Checkliste – jene den Zustand „INOP“ weiterhin anzeigen müssen, anstatt sofort den Zustand „ON“ zu melden. Klarerweise haben aber andererseits auch Checklisten-Punkte, die sich der Überprüfung vom Vorhandensein einer Not-Axt oder der Funktionsweise der Oxygen-Mask widmen, im PC-EFS einfach wenig bis gar keine Relevanz. Desweiteren trifft es auch bei dieser Simulation zu, dass man sich nicht darauf verlassen kann, dass das Gefühl für die Flugcharakteristik mit jener der echten 767 übereinstimmt (Siehe dazu Kapitel 5.1)

Kleinere Funktionsdefizite (durch die teilweise fehlende Implementierung einiger Parameter-Eingaben) finden sich auch bei der Bedienung des FMC's, prinzipiell ist aber die Eingabe der Flugrouten-Parameter für eine automatische Routenführung ausreichend möglich und schwächt – nach Meinung des Autors – nicht das generelle Trainings-Potential.

LDS767 sei hier nur ein Beispiel zur Veranschaulichung des Vorhandenseins von didaktischem Grundpotential. Für den Microsoft Flight Simulator gibt es mittlerweile eine Fülle an solchen komplexen Addons. Zur Zeit der Verfassung dieser Arbeit galten auch unter Anderem folgende Addon-Produkte, auf Grund ihres hohen Komplexitätsgrades, als Referenz für realitätsnahe Simulation großer Airliner:

- Ariane Design Boeing 737-800/900 (bzw. 600/700) - Erscheinungsjahr: 2006
- PMGD 737NG von Aerosoft - Erscheinungsdatum: 07.2003

- PMGD 747-400 Queen of the Skies (Aerosoft) - Erscheinungsdatum: 08.2005
- Ultimate Airliners - Super 80 Pro von Flight1 - Erscheinungsdatum: 11.2005
- Airbus A320 von AirlinerXP - Erscheinungsdatum: noch unbekannt.

Das beachtliche Trainingspotential wird nun langsam auch von Flug-Trainings-Institutionen erkannt. So hört man erstmals von Trainings-Unternehmen, die realen Piloten Einführungs-Schulungen und Workshops in die Basics komplexer Airliner-Systeme anbieten – unter Zuhilfenahme des Microsoft Flight Simulator und Level-D Sim 767.<sup>67</sup>

Zudem berichteten angehende Piloten bei Diskussionen in Internet-Foren, dass sie vor einem Airline-Screening (= Aufnahmeverfahren als Linienpilot bei einer Fluglinie), mit einem PC-EFS trainierten und der Meinung waren, dass sie sich dadurch wesentlich ihre Aufnahme-Chance verbessern konnten.<sup>68</sup> Bei derartigen Screenings müssen unter anderem die Flugfähigkeiten bei einem Checkflug in einem FFS unter Beweis gestellt werden. Hier halfen Addons, wie beispielsweise LDS767, den Piloten ihre mentale „Fitness“ vorher dahingehend zu stärken, dass sie beim Checkflug sämtliche Verfahren unter - absichtlich provozierten Stressbedingungen - souveräner und dadurch überzeugender handhaben konnten.

### **5.8 PC-EFS als didaktisches Mittel für Lehrkräfte bei der Flugschulung**

Bislang wurde der Microsoft Flight Simulator als Trainingsmittel - einzig und allein - aus der Sicht der Piloten oder Flugschüler gesehen. Dabei kann jener auch ein überaus wertvolles Hilfsmittel für jene Personen bieten, die den Lehrstoff beim Boden-Training vermitteln.

Gerade für Lehrkräfte, Ausbilder und Fluglehrer, deren Aufgabe es ist, den Flugschülern in Kursen die umfangreiche Flugtheorie zu vermitteln, bietet der Einsatz eines PC-EFS die Möglichkeit, Lehrinhalte unterstützend, mit mehr Interaktivität vorzuführen und Konzepte zu veranschaulichen, die

---

<sup>67</sup> vgl. Horizon Aviation (2008).

<sup>68</sup> vgl. ILS Flightforum.ch (2002b)

üblicherweise sonst nur mit der Kombination aus Zeichnungen und eigener Vorstellungskraft verständnis-mäßig erfassbar waren.

So könnte der Microsoft Flight Simulator verwendet werden, um Demonstrationsvideos oder Illustrationen von bestimmten Flugmanövern oder für die Erklärung von Cockpit-Instrumenten zu erstellen. Der Einsatz des PC-EFS könnte im Klassenraum sowohl als dynamisch-interaktive Ergänzung, oder aber auch gar als Substitut für das konventionelle Demonstrieren mittels PowerPoint-Präsentationen, Tafeln, Beschreibungen oder Modelle fungieren.<sup>69</sup> Somit können optimal mehrere Wahrnehmungskanäle beim Lehren verwendet werden, um die Fähigkeiten zu demonstrieren, die die Flug-Studenten lernen sollen. Denkbar wäre hier der Einsatz von statischen Screenshots eines Simulator-Fluges, die einen Flugzustand repräsentieren und in Präsentations-Slides gezeigt werden, bis hin zur Aufnahme eines Videos vom Simulator-Flug, um auch die zeitliche Komponente didaktisch zu nützen. Den höchsten Grad des Gefühls, interaktiv miteinbezogen zu sein, könnte ein Ausbildner erzielen, wenn er den Studenten quasi „live“ am Simulator etwas „vorfliegt“ und nebenbei ergänzende Erläuterungen abgibt. Dieser Flug könnte mittels Beamer oder größeren Präsentations-Monitoren dann für die Studenten optimal mitverfolgbar sein.

Konkrete Beispiele erstrecken sich von der fundamentalen Orientierung im Cockpit oder vom simplen Illustrieren des Verhaltens und der Funktionsweise der 6 Primärfluginstrumente im Kontext der unterschiedlichsten Flugmanöver, bis hin zur Manöver-Analyse unter IFR-Bedingungen, bei denen - nun im umgekehrten Sinne - die aktuelle Fluglage nur anhand der Instrumente erkannt werden soll. Auch das praxisnahe Verhalten von Navigations-Empfängern kann interaktiv studiert werden, in dem der Ausbildner beispielsweise die unterschiedlichen Nadelpositionen eines VOR-Empfängers zeigt, indem er das virtuelle Flugzeug immer wieder auf andere geographische Positionen platziert.

Zusätzlich bietet der Simulator die Möglichkeit, auch „exotische“ Ansichten, wie das Beobachten des eigenen Flugzeugs von außen, zu nützen, um beispielsweise

---

<sup>69</sup> vgl. Williams, Bruce (2006), S.56.

die Auswirkung des Verhaltens der Steuerflächen und Klappen bei etwaigen Steuereingaben zu veranschaulichen.<sup>70</sup>

Selbst das Übermitteln von konkreten Verhaltensweisen beim Bedienen der Steuerungen und der Instrumente bei Start, Landung oder Extremsituationen können durch (bedachtes) „Vorfliegen“ und passende Kommentare durch den Ausbilder wesentlich praxisbezogener gezeigt werden.

Hier entfallen auch meist kritische Aspekte, wie das gefürchtete Auftreten eines Negativ-Transfers, da der Ausbilder selbst bestimmen und bewerten kann, welche gezeigten Trainingssituationen durch welche Art von Illustration einen optimalen lerntechnischen Mehrwert besitzt. So sind hier beispielsweise Mängel beim realitätsnahen Steuerungs-Gefühl eher nebensächlich, solange man das Vorzeigen auf Verhalten beschränkt, sodass das Gezeigte an sich schlüssig nachvollziehbar und die Herstellung eines adäquaten Bezugs zum realen Pendant möglich ist. Deswegen ist der Autor der Meinung, dass gerade diese Einsatzmöglichkeit einem PC-EFS die überhaupt wertvollste Rolle zum Liefern eines didaktischen Beitrags zuteilt.

### **5.9 PC-EFS als Bestandteil eines zertifizierten Flight Training Devices**

Der letzte Evaluationspunkt widmet sich der - zugegebenermaßen etwas utopisch klingenden - Frage, ob der Microsoft Flight Simulator dazu genutzt werden könnte, als quasi partizipativer Software Bestandteil in FNPTs oder gar in Full Flight Simulatoren integriert zu werden. Wie ja bereits im Kapitel 5.3 erwähnt, wäre der Einsatz des Microsoft Flight Simulators - was die Qualitätsgüte und die Anforderungen betrifft - als Software-Bestandteil eines zertifizierten PCATD's durchaus denkbar (und sogar teilweise schon realisiert). Wie bereits in Abschnitt I erwähnt, sind die Anforderungen an Simulationssoftware für FNPT's oder FFS - was den Umfang und die Präzision der Simulation betrifft - allerdings wesentlich höher, als die von PCATD's.

Zudem ist die Software für professionelle Simulatoren meist explizit und genau auf die spezifische Hardware eines Simulators abgestimmt. Hersteller von Host-Systemen oder Sichtsystemen (Image Generator) verwenden hierzu oft bereits

---

<sup>70</sup> vgl. Williams, Bruce (2006), S.57.

proprietäre Hardware-Software-Kombinationen als quasi „Stand-Alone-Systeme“.

Desweiteren spielt Kapselung und Modularität eine große Rolle. In der Simulatorindustrie gibt es softwareseitig meist keine integralen All-In-One-Lösungen. Das Aufgabengebiet einer einzelnen Komponente deckt software- und hardwareseitig meist nur einen spezifischen Teilaspekt (Simulation der Flugphysik, Generierung der Außensicht). Erst die Kopplung jener Komponenten ermöglicht die Simulation im gesamten Umfang.

Diese Strategien ermöglichen, eine sehr robuste, zuverlässige und vor allem rechenleistungsstarke System-Architektur bereitzustellen, bei denen die einzelnen Rechner oftmals nur CPU-Taktraten eines Intel 486-Prozessors benötigen und trotzdem - im kollektiven Verband - Leistungen, jenseits der bis dato im Consumer-Bereich angebotenen Rechnersysteme erbringen.

Genau diese Strategien können aber in einer konsumenten-orientierten Software, wie PC-EFS - aus sicher nachvollziehbaren Gründen - nicht bedacht werden.

Sieht man einmal generell von der Strategie der Modularität ab und würde den Einsatz des Microsoft Flight Simulator als zentrale Betriebssoftware für FFS in Betracht ziehen, so würde allein schon die Tatsache, dass er ein Betriebssystem, wie Microsoft Windows, als Vermittler zwischen Hardware und Software benötigt, aufgrund des existierenden Ressourcen-Overheads, eine kaum zu überwindende technische Einschränkung darstellen. Allein schon durch das Laden des Windows-Betriebssystems werden unnötige periphere Programmelemente geladen, die für die Simulation an sich keine Rolle spielen. Diese Elemente beanspruchen aber oft einen nicht unerheblichen Teil des Arbeitsspeichers, bzw. der CPU-Kapazität, sodass für die eigentliche Simulation oft zu wenig Leistungsreserven zu Verfügung stehen. So schafft heutzutage selbst nicht einmal ein High-End-PC eine komplett flüssige Simulation der Bewegungen bei Aktivierung aller graphischen Potentiale im Microsoft Flight Simulator zu gewährleisten. Hier ist nicht nur das Betriebssystem als quasi „leistungsbremsendes Balast-Anhängsel“ verantwortlich, sondern allein auch schon die Tatsache, dass die PC-EFS Software alle Simulationsaspekte, wie

Bildgenerierung, Berechnung der Flugphysik, Audio-Generierung, etc. integriert und zur Berechnung dafür nur eine Recheneinheit zur Verfügung gestellt wird. Bei der Zertifizierung eines FFS wird unter anderem auch gemessen, ob die Zeitspanne vom ersten Input (Betätigen der Flugsteuerung) bis zur letzten Reaktion (Bewegungsfeststellung übers Sichtsystem) nicht über 150 Millisekunden liegt. Mit aktuellen High-End-PC's und der aktuellen Version des Microsoft Flight Simulators kann das noch nicht gewährleistet werden.

Somit wäre der erste Schritt zur Umgehung dieser Probleme, die Überlegung, nun auch einzelne Simulations-Aspekte der Microsoft Flight Simulator - Software zu verwenden und jene wiederum einem Simulator als Teil-Komponente zuzuführen, um eventuell damit der oben erwähnten Problematik des Leistungs-Overheads zu entgehen. Denkbar wären hier vor allem 2 Einsatzbereiche.

#### **5.9.1 Der Microsoft Flight Simulator als Simulation von System-Logik einzelner Luftfahrzeugsysteme:**

Das in Kapitel 5.7 bereits vorgestellte Addon „LDS767“ motiviert durchaus zu Überlegungen, die komplexe und softwareseitig detailliert simulierte Systemlogik - als Kern der Systemsimulation - in einem professionellen Trainingsgerät zu verwenden. Die Ansteuerung und die Simulation des Verhaltens einzelner technischer Komponenten im Flugzeug, wie die Elektrik, Pneumatik, Hydraulik, oder Avionic, wäre somit an sich übersichtlich zentral in einer Software-Komponente integriert und stellt auch bei weitem nicht so hohe Leistungsansprüche an einen Rechner, wie beispielsweise die Darstellung der Außensicht. Allerdings gibt es auch leider hier oftmals einige, schwer überwindbare Hürden: Eine wäre zum Beispiel die fehlende Voraussetzung einer technisch uneingeschränkt möglichen Daten-Kommunikation mit der Software der Systemlogik. Selbst gute Addons vergessen oder verzichten oft beabsichtigt, adäquate, bzw. ausreichende Programm-Interfaces zu implementieren, sodass beispielsweise ein Schalter oder Knopf im virtuellen Cockpit direkt mittels physikalischer Hardware angesprochen werden kann. Oftmals können zwar bei durchdachten Addons wesentliche Bedienelemente über (modifizierbare) Tastatur-Kommandos bedient werden, die wiederum

über Hardware-Schnittstellen mit physikalischen Bedienungen verknüpft werden können; trotzdem wird die Eingabeschnittstelle oft nicht durchgehend konsequent für sämtliche Parameter-Änderungen implementiert. So fehlt dann oft die Möglichkeit, einige andere System-Elemente, deren physikalische Bedienung unabdingbar wäre, wiederum extern ansprechen zu können (Hierzu ist dann nach wie vor die Bedienung über die Maus notwendig). Schlimmer noch ist die Situation oft, was die Möglichkeit betrifft, Werte, Zustände und Parameter der einzelnen Systeme auszulesen und dementsprechend hardwareseitig an externe Anzeige-Möglichkeiten weiterzuleiten. Hier lassen viele Addons programmiertechnisch einfach keine Möglichkeit zu, beispielsweise über gemeinsam genutzte Speicherorte Daten aus dem geschlossenen Softwareteil auszulesen. So kann der Autopilot von LDS767 die Funktionsweise noch so realistisch umsetzen, wenn es keine Möglichkeit gibt, die numerischen Werte der ALT-, SPD-, HDG- oder VERT SPD-Anzeige auszulesen und an externe Anzeige-Hardware weiterzuleiten. Allerdings haben teilweise bereits einige Hersteller von Addons diese Problematik erkannt und bieten allmählich Software-Produkte an, die Kommunikation mit externer Software oder Hardware ermöglichen. Die nächste Herausforderung wäre dann, die Systemlogik softwareseitig komplett von der restlichen Simulation (zum Beispiel der bekanntlich nicht sehr realitätsnahen Flugphysik im Microsoft-Simulator) zu entkoppeln und alternativ als eigenständige Software-Komponente zu betreiben.

### **5.9.2 Der Microsoft Flight Simulator als Sichtsystem**

Eine andere Möglichkeit der Integration wäre, die Außensichtdarstellung des PC-EFS als Image Generator-Komponente in FNPT's oder einem FFS zu verwenden. Diese Möglichkeit wurde auch schon von einigen Herstellern professioneller Trainingsgeräte in Erwägung gezogen. Was die Darstellungsqualität betrifft, so übertrifft derzeit die Außensicht des Flight Simulator in der Version 10 - unter der Voraussetzung des Einsatzes von zusätzlichen Szenerie-Addons - nach wie vor tatsächlich bei weitem die der Visuals eines FFS. Die Genauigkeit des Mesh-Terrain-Höhenmodells und die detaillierte Repräsentation des Flughafens, mitsamt seiner Gebäude und der

Bodentexturierung kann durchaus professionellen Image-Generatoren das Wasser reichen. Was sich allerdings auch hier nach wie vor kontraproduktiv bemerkbar macht, ist die mangelnde Performance des PC-EFS. So muss der Rechner - auch wenn alle Grafikoptionen des PC-EFS aktiviert sind und unzählige, aufwendige Szenerie-Erweiterungen Verwendung finden - jederzeit und konstant eine Bildwiederholrate von mindestens 25-30 Frames in der Sekunde liefern, damit eine flüssige und realistische Empfindung der Bewegungsdarstellung gewährleistet ist. Oftmals passiert es, unabhängig von der Aktualität der Hardware, dass es aber sehr wohl Einbrüche in der Bildwiederholrate gibt, ungünstigerweise gerade bei kritischen Flug-Phasen in Bodennähe. Wird beispielsweise ein Addon zur detaillierteren Darstellung eines Flughafens verwendet, so kann es geschehen, dass es - je nach Programmierung des Addons - gerade im kritischen Landeanflug, (wo Flughafen-Geometriedaten und Texturierung in den Speicher geladen werden müssen) zu krassen Performanceeinbrüchen kommen kann, was natürlich in einem professionellen Trainingsgerät vollkommen inakzeptabel ist. Dies erklärt auch, warum professionelle Bildgenerierungs-Systeme oft nicht State-of-the-Art Grafik zur Darstellung der Außensicht verwenden. Hersteller solcher Systeme verwenden meist beabsichtigt ältere Grafikhardware, die allerdings dafür wesentlich ausgereifter, erprobter und damit zuverlässiger arbeitet.

Weiters gibt es noch andere gravierende, qualitative und funktionelle Unterschiede, zwischen professionellen Sichtsystemen und der Grafik-Darstellung im PC-EFS. So werden bei professionellen Image-Generatoren, wie beispielsweise von Evans & Sutherland (E&S), die Darstellung der Außensicht für eine Anzeige in 3-Kanal-Konfiguration optimiert. Das bedeutet, dass das gesamte Sichtfeld in 3 Projektionsbereiche unterteilt wird, die wiederum an die 3 Anzeige-Systeme (Links - Mitte - Rechts) weitergereicht werden. Erst auf der Projektionsfläche selbst fügt sich das komplette Bild perspektivisch korrekt und ohne Überschneidungen und sichtbare Nahtstellen zusammen. So werden bereits vorausschauend bei der softwareseitigen Bildgenerierung der 3D-Landschaft Maßnahmen ergriffen, dass sie - auch über komplexe Kollimations-Systeme - ohne perspektivische Verzerrungen korrekt dargestellt wird. Ein



weiteres Funktionsmerkmal eines professionellen Sichtsystems zeigt sich bei der Visualisierung von Lichtquellen und Beleuchtung, besonders bei Nachtszenen. Um einen realistischen Eindruck zu erhöhen und FAA/JAA-konforme Maßstäbe einzuhalten, werden Lichtpunkte meistens kalligraphisch gesondert gerendert und an das Anzeige-System weitergereicht. Ein weiteres Merkmal von Systemen, wie die von E&S sind die Hardware-Software-Mechanismen zur nahtlosen Darstellung von Textur- oder Pixel-Übergängen und demonstrieren die funktionale Überlegenheit gegenüber der Außensichtdarstellung eines PC-EFS (die ja nachvollziehbarer-weise meist nur für die Darstellung auf einem CRT- oder TFT-Monitor optimiert ist)

Die damit bewiesene Überlegenheit eines professionellen Sichtsystems disqualifiziert zwar den Einsatz eines PC-EFS in Flight-Training-Devices, die für eine hohe Qualifikationsstufe gedacht sind (wie Level-D FFS), schließt aber deswegen den Einsatz in Trainingsgeräten dementsprechend niedrigerer Qualifikation (FNPT, PPT) nicht aus.

So gibt es durchaus akzeptable Lösungen, zumindest das oben angesprochene Defizit des Performance-Mangels so gut wie komplett zu eliminieren. Eine der Stärken des Microsoft Flight Simulator manifestiert sich nämlich in der relativ hohen Skalierbarkeit seiner Grafik-Engine. So können sämtliche Parameter, die die Grafik-Qualität beeinflussen, wie z.B. die Bild-Auflösung, oder spezifische Zusatzfeatures der Hardware-Beschleunigung (Anti-Aliasing, Texture-Mapping, etc...) stufenweise an die Hardware-Voraussetzungen des Rechners angepasst werden. Selbst der Detailgrad und die Fülle der gezeigten geometrischen Objekte, bzw. die Genauigkeit des Mesh-Terrains oder der Texturen kann individuell eingestellt werden und erlaubt eine sehr gute Justierung zur Kompromissfindung zwischen Darstellungs-Qualität und Rechner-Leistung. So bietet die Darstellung der Außensicht, auch in einer eher niedrigen Qualitätsstufe, meist immer noch ausreichend Darstellungsqualität und Detailreichtum, die vergleichbar mit dem eines echten Simulators ist. Ungeachtet dessen gibt es auch schon entsprechende Versuche, die Grafik-Engine des Simulators durch eine Art „Pseudo-Modularisierung“ vom Rest der Simulation zu entkoppeln, um dadurch die Leistung zu erhöhen. Dazu gibt es die

Möglichkeit, mit zusätzlicher 3rd-Party-Software das gleichzeitige Betreiben mehrerer Softwareinstanzen des Simulators zu ermöglichen, die auf unterschiedlichen Rechnern laufen und über ein LAN-Netzwerk zeitlich synchronisiert werden. Diese Software, mit dem Namen „WideView“, ermöglicht nicht nur eine logische Trennung zwischen Simulation des Flugzeuges und der Berechnung der Außensicht, sondern bietet darüber hinaus die Möglichkeit, verschiedene Blickperspektiven von jeweils mehreren Rechner-Einheiten rendern zu lassen und somit quasi das virtuelle Sichtfeld (Field of View) zu erweitern, gleichzeitig aber auch eine optimale Aufteilung der Leistungs-Ressourcen zu erzielen. Eine mögliche Realisierung: Ein Rechner ist explizit für die Darstellung und Simulation des virtuellen Cockpits - inklusive der Berechnung der Flugdynamik und Luftfahrzeug-Systeme - gedacht, hat dafür die Grafik-Parameter der Außensicht jedoch auf ein Minimum reduziert. Die anderen Rechner „übernehmen“ die Darstellung einer hochqualitativen Außensicht - und sparen sich die Darstellung eines komplexen virtuellen Cockpits.

Microsoft selbst, scheint von dem großen Potential der Grafik-Engine ihres Flugsimulators sehr überzeugt zu sein. So wurde im Jahr 2007 mit Microsoft® ESP™ die erste Stand-Alone-Visualisierungs-Software veröffentlicht.<sup>71</sup> Diese basiert auf der Grafik-Engine des Microsoft Flight Simulators X, und ist - laut Microsoft - unter anderem auch als Software-Alternative für Image-Generatoren von Sichtsystemen professioneller Flight-Training-Devices gedacht. So bleibt abzuwarten, ob sich der Einsatz der Grafik-Engine des Microsoft Flight Simulators jemals in professionellen, zertifizierten Level-D-Simulatoren durchsetzen wird. Doch prinzipiell ist der Autor überzeugt, dass die Integration der Außensichtdarstellung zumindest in Trainingsgeräten (FTD's) niedrigerer Qualifikation, wie in FNPT's, CPT's, oder PTT's, sowohl technisch realisierbar und rentabel ist, als auch das qualitative Anforderungsprofil erfüllen könnte.

---

<sup>71</sup> vgl. Microsoft ESP (2007).

## 5.10 Schlussfolgerungen

Wie die vorigen 9 Kapitel zeigen, gibt es eine Reihe an Möglichkeiten, bei denen man den Einsatz eines PC-EFS als (zusätzliches) Trainingsmittel in Erwägung ziehen könnte.

Seine Stärken kann er beispielsweise im grundlegenden IFR-Training oder bei der Instrumenten-Grundschulung voll ausspielen. Er kann aber ebenso helfen, komplexe Systeme und Mechanismen, die in Luftfahrzeugen zu finden sind, in ihren Grundlagen zu verstehen.<sup>72</sup>

Der Autor hofft aber auch, dass er genauso gut die Grenzen der Potentiale eines PC-EFS näher bringen konnte, die verdeutlichen, dass ein PC-EFS kein „allzweckmäßiges Wundermittel“ darstellt. So seien kühne Hypothesen, wie: „PC-Flugsimulations-Enthusiast kann Passagier-Jet im Alleingang nach Fischvergiftung der Piloten landen“ oder andere utopische Überlegungen, wie: „Der Simulator als Pinch-Hitter (Ersatzmanntrainings) Kurs“, die in Internet-Foren und Artikel einige kontroverse Diskussionen ausgelöst haben, doch in den Bereich der Mythen verwiesen. Andererseits erkennt der Leser vielleicht, dass - bedingt durch die fortschrittliche Technik und die zunehmende Komplexität der PC-basierenden Simulatoren - ein Training mit PC-EFS in immer mehr möglichen Einsatzgebieten kleine, aber wertvolle Beiträge leisten kann.

Resümierend lässt sich feststellen, dass man einen PC-EFS gut zum informellen - quasi unverbindlichen - Flugtraining (Informal Flight Training) benutzen kann, um sich einerseits einen ausreichenden Überblick über die zu erlernenden Flugfertigkeiten eines Piloten beim Umgang mit einem Luftfahrzeug zu verschaffen, andererseits um sich auf gewisse Verfahren mental vorzubereiten oder um sich spezifische Konzepte und Fähigkeiten wieder in Erinnerung zu rufen<sup>73</sup> (wie z.B. erfolgreich beim IFR-Training gezeigt).

Was diese Arbeit allerdings gleichzeitig auch verdeutlichen will ist, dass erfolgreiches Training auch nur unter gewissen Vorbedingungen und Umständen möglich ist. Eine davon ist die Fähigkeit, erkennen, beurteilen und

---

<sup>72</sup> vgl. Davitt, Joe (2001).

<sup>73</sup> vgl. Williams, Bruce (2006), S.18.

unterscheiden zu können, welche Art von Training mit einem PC-EFS überhaupt sinnvoll ist, und welche nicht.

Folgendes Zitat, das im Jahr 2002 im Fach-Magazin „FlightXPress“ zu lesen war, trifft ziemlich genau den Punkt:

*„Der Weg zum Realismus beim Fliegen am PC ist so gut, wie es das schwächste Glied in der Kette erlaubt. Und häufig ist das gar nicht der Simulator selbst, sondern sein Benutzer.“<sup>74</sup>*

Ein PC-EFS kann - ungeachtet dessen, wie realitätsnah er eventuell durch diverse Addons gemacht werden kann - nur realistisch sein, wenn er auch dementsprechend realistisch bedient wird. Soll also ein PC-EFS beim Training eingesetzt werden, sollte die Person - sei es nun ein Trainer (Fluglehrer), der seinen Flugschülern Lehrstoff-Vermittlung durch Einsatz eines PC-EFS ermöglichen will, oder ein Flugschüler selbst, der aus eigenem Antrieb den Einsatz eines PC-EFS zum ergänzenden Training in Erwägung zieht - ein verantwortungsvolles Bewusstsein über die Stärken und Schwächen einer PC-basierenden Consumer-Simulation besitzen, um dann die Auswahl der Trainingsszenarios dementsprechend zu treffen. Hier ist der allerwichtigste Punkt, genau zu wissen, wie man beispielsweise negativen Transfer von vornherein vermeiden kann. Deswegen gilt es, insbesondere folgende Richtlinien zu beachten<sup>75</sup>:

- Sich bereits vor dem Training auf eine klare Festlegung der Aufgaben und Lernziele einigen, die über einen PC-EFS trainierbar sind.
- Konzentration auf die Stärken eines PC-EFS, um sie für die Ableitung spezieller, diskreter Trainingsaufgaben und -Ziele zu verwenden.
- In jeder Trainingssituation die konkreten Unterschiede zum echten Flug erkennen und gegebenenfalls den Trainings-Kandidaten darauf hinweisen.

---

<sup>74</sup> Störing, Marc (2002).

<sup>75</sup> vgl. Williams, Bruce (2006), S.28.

So ist es meist sinnvoller, sich beim Training auf einen bestimmten, simulierten Teilaspekt im Simulator zu beschränken und diese Fragmente didaktisch optimal auszunutzen, so wie Bruce Williams in seinem Buch anrät:

*„As an aid to training, the parts of Microsoft Flight Simulator  
can be greater than the whole.“<sup>76</sup>*

Dieses Zitat beinhaltet versteckt den Hinweis, den PC-EFS eher als Part-Task-Trainer nützen zu lernen.

Natürlich werden Produkte, wie der Microsoft Flight Simulator trotzdem sehr oft scharf verurteilt, in vielen Bereichen so unrealistisch zu sein. Eines der größten Schwächen ist sicherlich das Flugmodell (aerodynamisches Verhalten/Flugeigenschaften der virtuellen Flugzeuge), das nach wie vor nicht ausreichend genug dem realen Vorbild entspricht. Auch Systeme, wie ein funktionierender FMC sucht man selbst im Basis-Programm der aktuellen Simulator-Version (noch) vergebens. Man muss sich allerdings wieder ins Bewusstsein rufen, dass der Microsoft Simulator, nach wie vor, vorwiegend als Spiel eingesetzt wird. Forderungen, den Simulator noch realistischer zu machen, könnten zwar rein technisch umgesetzt werden, doch ist dies oft eine Frage der Rentabilität. Die Entwicklungskosten würden ungleich explodieren - und so auch der bislang so attraktive Verkaufspreis. Außerdem muss man bedenken, dass die Entwickler versuchen, ein möglichst breites Zielpublikum anzusprechen. Die User sind hier teilweise extrem unterschiedlich in ihren Erwartungen und Ansprüchen. So müssen auch Personen Gefallen an dem Produkt finden, die sich ein schnelles Erfolgserlebnis erhoffen und nicht stundenlang vor Handbüchern sitzen wollen, um beispielsweise ein Flugzeug in Betrieb nehmen zu können. Deswegen muss oft ein Kompromiss zwischen realitätsnahem Detailreichtum und der Bedienbarkeit „für Laien“ geschlossen werden. Trotzdem wird die einzigartige Möglichkeit offeriert, den PC-EFS durch Addons dahingehend zu erweitern, dass er den persönlichen Ansprüchen an Realismus und Genauigkeit (annähernd) entspricht. Ein Vorteil, den nur wenige andere kommerzielle Produkte mit „Trainings-Charakter“ nachweisen können.

---

<sup>76</sup> Williams, Bruce (2006), S.19.

An dieser Stelle sei noch einmal auf den von Williams erwähnten, und sehr treffenden Vergleich des PC-EFS mit dem Gebrauch als Schweizer Taschenmesser des Luftfahrt-Trainings hingewiesen (in diesem Zusammenhang lässt sich hier sogar der etwas pathetisch klingende Ausspruch: „Man kann ein Messer als Waffe, oder auch als nützlichen Gebrauchsgegenstand verwenden“ anbringen).<sup>77</sup> Wird ein PC-EFS richtig und angemessen verwendet, so kann er in wunderbarer Weise die Freude beim (oft sehr lernintensiven und anspruchsvollen) Flugtraining erhöhen und macht in Folge aus Flugschülern engagierte, verantwortungs- und sicherheits-bewusste Piloten.

---

<sup>77</sup> vgl. Williams, Bruce (2006), S.24.

## **6 Der PC-EFS im Einsatz in „Homebuild“ - Simulatoren.**

### **Ein Ausblick...**

Das letzte Kapitel soll eine kurze Perspektive geben, was mit einem PC-EFS alles machbar und möglich ist. Im Jahr 1995 begannen erstmals einige Flugsimulations-Enthusiasten in Ansätzen zu experimentieren, das virtuelle Flugerlebnis am PC durch den zusätzlichen Einsatz physischer Artefakte (Mockups, die realen Cockpit-Teilen ähneln) realistischer und vor allem fühlbarer zu gestalten. Durch diese Idee, dem Vorbild eines Full-Flight-Simulators, sowie der Erweiterbarkeit des Microsoft Flight Simulators inspiriert und motiviert, versuchen seitdem viele Flugsimulator-Begeisterte, ihren Traum eines selbstgebauten Heimflugsimulators zu verwirklichen. Anfangs beschränkten sich die ersten Realisierungs-Versuche auf die Integration von herkömmlichen PC-Joysticks und dem PC-Monitor in cockpitähnliche Mockup-Vorrichtungen. Doch nach und nach erkannten auch Unternehmen die Marktlücke - nämlich eine rapid steigende Nachfrage nach individueller Eingabe-Hardware, mit der man Funktionen des Microsoft Flight Simulators (damals in der Version 5.1) anzusteuern vermag.

So hat dieses Microsoft-Produkt - als eines von ganz wenigen Software-Produkten, - einen kompletten Industriezweig ins Leben gerufen, der sich zur Gänze dem Entwickeln und Bereitstellen von Hardwarezubehör für Konstrukteure von Heimflugsimulatoren widmet.<sup>78</sup>

Ausgangspunkt für die meisten Simulator-Konstrukteure ist hier - quasi als Minimalkonfiguration - eine Kombination von Joysticks, die eine Betätigung des Höhen-, Seiten- und Querruders, sowie der Motor- oder Triebwerkssteuerung nach dem realen Vorbild ermöglichen. Hersteller, wie CH-Products (<http://www.chproducts.com>) haben sich hier auf die Herstellung von flugspezifischer Eingabe-Hardware (Yoke's, Ruder-Pedale und Throttle-Quadrants) spezialisiert und bieten diese zu moderaten Consumer-Preisen an.

---

<sup>78</sup> Williams, Bruce (2006), Kapitel 2.



Abb 5.10.A Yoke von CH Products



Abb 5.10.B Ruderpedale von CH



Abb 5.10.C PFC Yoke

Qualitativ höherwertige Produkte gibt es von Herstellern wie Precision Flight Controls (PFC), bzw. Cirrus. Diese Eingabe-Geräte kommen sogar teilweise bei zertifizierten PCATD's oder FNTP's zum Einsatz und distanzieren sich in ihrer Implementierung meist von der generischen Bauweise, die etwa CH-Produkte aufweisen.

Zunehmend wurde jedoch der Bedarf an zusätzlichen, individuellen Eingabemöglichkeiten evident, die die restlichen Bedienungselemente, die in einem typischen Flugzeug-Instrumentenbrett zu finden sind, imitieren und die korrespondierenden Funktionen im PC-EFS ansprechen.

Quasi einer der Pioniere dieser Branche, war der Amerikaner Ralph Robinson, der als Unternehmensgründer von R&R Electronics Mitte der Neunziger-Jahre die Interface-Hardware EPIC entwickelte und als modulares System dem Hobby-Bastler zum Verkauf anbot (siehe: <http://www.mindspring.com/~rrelect>, am 15.08.08). Das EPIC-System ermöglicht, Anzeigen, Schalter und Knöpfe, wie sie in einem echten Cockpit zu finden sind, über eine Reihe modularer Hardware-Komponenten und einer ISA-Steck-Karte (die später durch ein externes USB-Device ersetzt wurde) mit dem PC zu verbinden und damit die Flugsimulationssoftware anzusteuern.



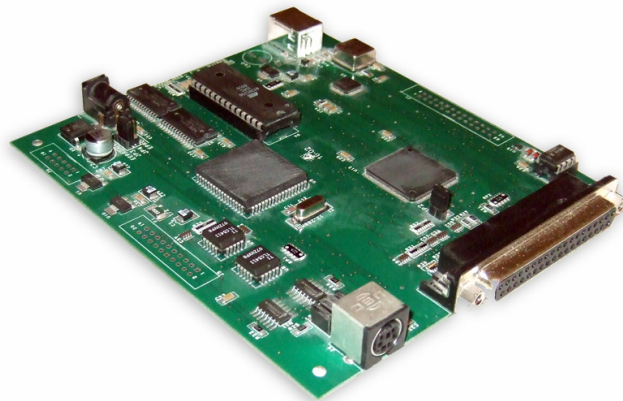


Abb 5.10.D Das EPIC-USB Hauptmodul

Die Kommunikation erfolgt bidirektional, sodass auch Events, die in der Simulator-Software ausgelöst werden, an das EPIC-Device weitergeleitet werden können, welches wiederum Lampen, 7-Segment-Anzeigen oder Schrittmotoren ansprechen kann.

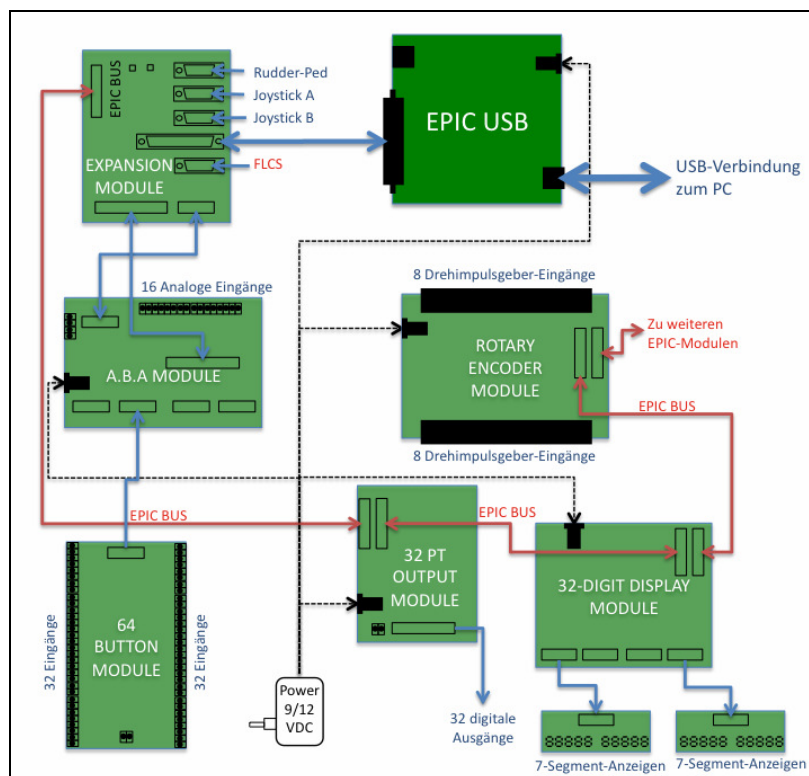


Abb 5.10.E Die einzelnen EPIC-Module in einer Beispiel-Konfiguration

Über die C-ähnliche Programmiersprache EPL kann das Verhalten und die Systemlogik des EPIC-Devices programmiert werden. Da das System-Setup durch die Modularisierung und Programmierung sehr gut den individuellen Bedürfnissen angepasst und erweitert werden kann, ist EPIC zu einer der

bekanntesten und meistgenutzten (wenn auch kostenaufwändigsten) Hardware-Lösungen bei den Heimsimulator-Konstrukteuren geworden.

Unternehmen, wie der kanadische Hersteller CSI - Cockpit Simulations (siehe: <http://www.em.ca/~cockpits>, am 8.10.08) begannen bald danach Replikatate von konkreten Bedienungs-Elementen, die im Cockpit eines Airliners zu finden sind, nachzubilden, die wiederum via EPIC mit dem Flugsimulator verbunden werden konnten.

Doch auch Interessenten an Simulation moderner Glass-Cockpit-Layouts mussten nicht lange warten. Im Jahre 1998 entwickelte der Software-Entwickler Enrico Schiratti die (kostenpflichtige) Software „Project Magenta Glass Cockpit“. Nach einem modularen Komponenten-Schema - werden damit digitale Cockpit-Displays (Primär-Flug-Anzeigen, Triebwerksanzeige, System-Status-Displays etc.) einer modernen Boeing- und Airbus-Flugzeugtype in ihrer echten Funktionsweise nachgeahmt und können detailgetreu, in ihrer richtigen Größe, am PC-Monitor dargestellt werden. (siehe: <http://www.projectmagenta.com>, am 08.10.08).



Abb 5.10.F PFD, ND und EICAS-Display im 747-Stil von Project Magenta

Ziemlich zeitgleich dazu gelang es Adam Szofran, eine Software zu entwickeln, die als Addon mit dem Namen „FS6IPC“ in den Microsoft Flight Simulator eingebunden werden konnte. Sie ermöglichte erstmals, simulations- und programm-interne Variablen und Parameter, sowohl auszulesen und externen Applikationen zur Verfügung zu stellen, als auch (eingeschränkt) „von außen“ zu modifizieren. Der Programmierer Peter Dowson stellte im Jahre 1999 die verbesserte Nachfolgeversion mit dem Namen „FSUIPC“ zur Verfügung. Durch die optionale Software „WideFS“ können die von FSUIPC ausgelesenen Variablen über das IPX- oder TCP-Netzwerk-Protokoll an vernetzte,

eigenständige Rechner geschickt werden (bei denen keine Instanz des Flight Simulators laufen muss). Natürlich kann diese Kommunikationsmöglichkeit auch verwendet werden, um in umgekehrter Weise Befehle an jenen Rechner zu senden, auf dem die eigentliche Flugsimulator-Instanz läuft. Es wird meist folgende Konfiguration realisiert: Am Server-Rechner läuft der Flugsimulator mit dem FSUIPC-Addon und einer Server-Instanz von WideFS, an dem (den) Client-Rechner(n) dann dementsprechend die Client-Instanz von WideFS und die Applikation(en) zur Anzeige oder Steuerung der Simulationskomponenten. Durch diese Server-Client-Architektur, die den Simulator gleichsam als verteiltes System agieren lässt, gelang es diesem Kommunikationssoftware-Bündel - quasi als Inter-Applikations-Botschafter - einen Meilenstein zu setzen, indem es den technischen Grundstein für die Entwicklung externer Hardware- oder Software-Erweiterungen legte. Auch Schirattis Project Magenta Display-Software verwendet die FSUIPC/WideFS-Lösung, um die Werte der Flugdaten des Simulators auszulesen und darzustellen. So kann die Software - unabhängig von der Simulator-Version - autonom auf eigenständigen (vernetzten) Rechnern laufen. Folgende Konfiguration wäre hier beispielsweise umsetzbar:

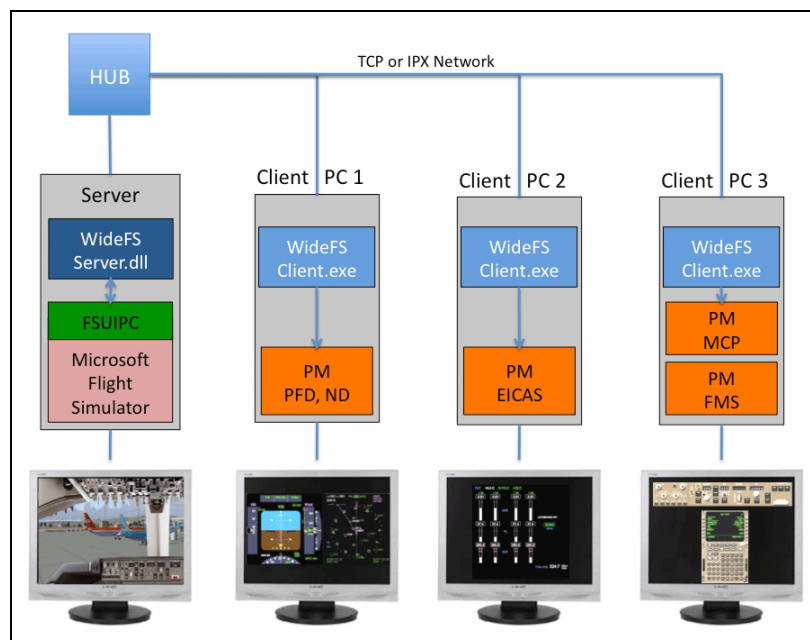


Abb 5.10.G Project Magenta - Konfiguration mit 3 PC's

Die Anzeigen vom Primary Flight Display (PFD), Navigation Display (ND) und dem EICAS-Display fanden so großen Anklang, dass Project Magenta seine Produktlinie durch eine Stand-Alone-Simulation der CDU/FMS-Bedienung-

Einheit sowie durch eine Software erweiterte, die die komplette Logik des Autopilotensystems implementiert. Diese MCP-Software ersetzt den simulationsinternen Standard-Autopiloten und ermöglicht - in Interaktion mit der Glass-Cockpit-Software, der FMC/CDU-Software und dem Flugmodell im Simulator - eine sehr realistische Handhabung des automatisierten Fluges (LNAV-, VNAV-, FLCH-Operationen), sowie man sie von einem typischen Airliner kennt. Das neueste Produkt von Project Magenta ist sogar in der Lage, die Logik und das Verhalten aller Flugzeugsysteme, die über das Overhead-Instrumentenbrett angesprochen werden, zu simulieren (PM-Systems). Mittlerweile gibt es aber auch schon einige kostenlose Software-Alternativen, die die Anzeige boeing- oder airbus-typischer Glass-Cockpit-Displays ermöglichen.

Nachdem sich doch einige Heimflugsimulator-Bauer von der Komplexität einer EPIC-Interface-Lösung (die teilweise profunde elektrotechnische und programmiertechnische Vorkenntnisse für die Implementierung voraussetzt) abschrecken ließen, gingen einige Hersteller von Simulatorhardware dazu über, integrale All-In-One-Lösungen zu entwickeln, in denen das Human-Interface und die Hardware zur Umwandlung in diskrete Simulator-Befehle in einem Gerät integriert wurden und nur mehr über ein USB-Kabel an den Simulator-Rechner angeschlossen werden mussten. Hierbei erstreckt sich das Angebot über die Realisierung rein generischer Cockpit-Instrumente, die im Aussehen und der Bedienung keinem speziellen Flugzeugtyp entsprechen, bis hin zu konkreten Replikas, die im Aussehen dem echten Vorbild entsprechen.

Generische Cockpit-Hardware, die beispielsweise eine generalisierte Steuerung von Autopiloten-Modi oder die Einstellung von Navigation- oder Kommunikations-Frequenzen für den Microsoft Flight Simulator ermöglicht, bieten Hersteller, wie GoFlight (<http://www.goflightinc.com>), ITRA, oder Aerosoft (mit der bereits etwas betagten ACP-Reihe). Im Falle von GoFlight sind die Bedienungen - je nach Funktionseinsatz - in logische Einheiten gruppiert und können modul-weise erworben werden.

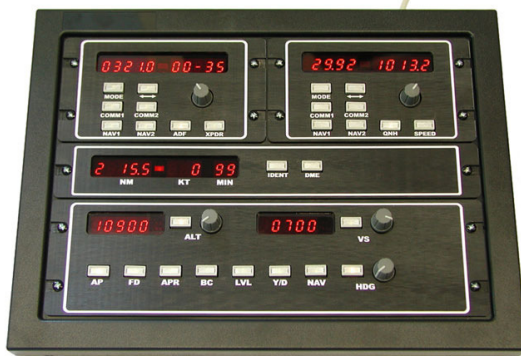


Abb 5.10.H Generische Avionic-Steuerung von ITRA



Abb 5.10.I Eingabehardware in Pedestal-Form von GoFlight

Unternehmen, wie CPflight (<http://www.cpflight.com>), Aerosoft Australia, oder Sismo Soluciones haben sich wiederum spezialisiert, Autopiloten-Steuerungskonsolen für Airbus- oder Boeing-Flugzeuge herzustellen, die in ihrem Layout und der Bedienung weitgehend dem Original gleichen. Hier sind nicht nur die Schalter, Taster und Drehknöpfe maßstabsgetreu umgesetzt, sondern auch sämtliche numerische Anzeigen, deren Werte über den Autopilot-Zustand informieren, wobei deren Daten von der Schnittstellen-Software FSUIPC geliefert werden. Dank der Integration all der notwendigen Hardware in ein Gerät, sind jene zusätzlichen Bedienungskontrollen wesentlich einfacher zu installieren, als EPIC-betriebene Hardware. Darüber hinaus sind diese Produkte meist sogar kompatibel mit der MCP/CDU-Simulationssoftware von Project Magenta.



Abb 5.10.J Komplette A320 FCU-Bedieneinheit von CPflight

Eines der umfangreichsten Hardware-Sortimente für realistische 1:1-Replikas von Instrumentenbrett-Teilen für die geläufigsten Airliner-Cockpits bietet die Firma Engravity (<http://www.flyengravity.com>) und Flightdeck Solutions (<http://www.flightdecksolutions.com>). Sie stellen u.a. die bereits korrekt lackierten Frontplatten, samt hintergrundbeleuchteten Beschriftungen, her.

Optional bieten die Unternehmen die Möglichkeit, auch die Anzeigen, und alle haptischen Bedienelemente (Schalter, Knöpfe, Regler) für die gewünschte Frontplatte des Instrumentenbretts mitzuliefern. Für die Verdrahtung bzw. physikalische Verbindung mit dem PC ist hier allerdings der Einsatz separater IO-Schnittstellenhardware, wie beispielsweise die speziell für den MS Flight Simulator entwickelten Systeme EPIC, FSBUS oder ITRA TCP-USB-S1, erforderlich.



Abb 5.10.K 737-Overhead-Panel von Engravity (mit Hardware)

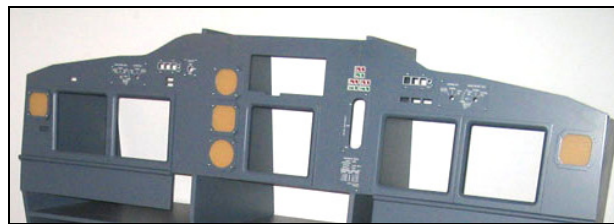


Abb 5.10.L 737NG-MIP von Flightdeck Solutions

So können quasi im modularen Baukastenbetrieb Teile des MIP's (=Main Instrument Panel), des Overhead-Panels oder Pedestal-Panels bestellt werden und zu einer 1:1-Nachbildung eines Airliner Cockpits zusammengesetzt werden.

Für Heimflugsimulator-Konstrukteure, die Cockpits mit analogen Rundinstrumenten nachbauen wollen, (so wie sie etwa in älteren Flugzeugtypen oder General-Aviation-Mustern, wie in einer Cessna Einmot zu finden sind), gibt es mittlerweile auch einen beachtlichen Fundus an Bezugsmöglichkeiten. Hardwarehersteller, wie Simkits oder „Flight Illusion V.O.F“ (<http://www.flightillusion.com>) bieten eine Reihe nachgebauter, analoger Rundinstrument-Typen an - von den Basisfluginstrumenten, bis hin zu Triebwerküberwachungs-Anzeigen. Die Zeiger werden dabei über Schrittmotoren oder Servos bewegt. Die einzelnen Instrumente können über ein zentrales Sammel-Interface via USB an den PC angeschlossen werden, welches die numerischen, digitalen Werte in diskrete Schrittmotor-Steuerungs-Signale umsetzt.





Abb 5.10.M 737-Chronometer-Instrument aus der GSA-Reihe (Flight Illusion)



Abb 5.10.N Voll funktionsfähiger Künstlicher Horizont von Simkits

Wie man sieht, bietet sich für einen Heimflugsimulator-Bauer hier ein schier unbegrenztes Spektrum an bereits vorgefertigten Realisierungs-Lösungen an. Der Umstand, dass es hier kaum rentabel ist, eine hoch-individuelle Hardware durch Serienanfertigung in hohen Stückzahlen herzustellen, schlägt sich jedoch meist auf den Preis nieder, sodass sich viele Simulator-Konstrukteure, entscheiden, Hardware komplett in Eigen-Regie zu entwerfen. Deswegen ist in dieser Branche oft ein nicht unbeachtliches Maß an Eigenkreativität gefragt.

In den letzten Jahren hat dieses extravagante Hobby durch die entstandene Eigendynamik nicht nur einen prosperierenden Markt geschaffen, sondern auch ein beinahe exponentielles Wachstum von diversen Ressourcen-Quellen initiiert, die den Technologie- und Erfahrungs-Austausch zwischen den einzelnen Interessenten dokumentieren. Dies äußert sich vor allem durch die Existenz unzähliger Internet-Blogs, -Tutorials, -Foren und Online-Communities, die sich mit diesem Thema beschäftigen und einem interessierten Neuling ein möglichst breites Spektrum an Hilfe beim Einstieg in die Materie bieten wollen.



Abb 5.10.O Heimflugsimulator-Projekt  
des Autors - konzipiert als PTT



Abb 5.10.P Ambitionierter Nachbau eines 767-Cockpits als  
Heimflugsimulator

Nun mag man sich wahrscheinlich auch die Frage stellen, ob so ein - von Amateuren erstellter - Simulator eventuell auch als Trainingsgerät für Ausbildungszwecke geeignet ist. Diese Frage wird insofern schwer zu beantworten sein, als sie vor allem von der individuellen Motivation, der Absichten und den Zielen derjenigen, die so ein Projekt verwirklichen, abhängt.

Vereinzelt wurden bereits erfolgreich Software-Lösungen, wie Project Magenta in FAA-zugelassenen FTD's integriert. Auch Hersteller von Cockpit-Hardware-Replikas, wie die oben erwähnte Firma Engravity oder Flightdeck Solutions berichten über Fälle erfolgreicher Integration ihrer Teile in professionellen FTD's. Dies beweist, dass die Komponenten an sich qualitativ ausreichend akkurat hergestellt werden, um in einem professionellen Trainingsgerät eingesetzt zu werden.

Persönliche Befragungen ergaben jedoch, dass die meisten Personen, die ein Heimflugsimulator-Projekt umsetzen, als Hauptmotivation meist gar nicht die Entwicklung eines zertifizierten Trainingsgeräts für Piloten im Sinn haben, sondern der Bau oft einfach aus einem rein persönlichen und (oder emotionalen) Anreiz begründet ist. Viele wollen damit einfach nur die Faszination eines Flugerlebnisses möglichst „hautnah“ und involviert erfahren. So dient ein solcher Simulator beispielsweise oft dazu, den eventuell nicht erfüllten oder erfüllbaren (Berufs-) Traum vom Fliegen auszuleben, den Anreiz der hypothetischen Beantwortung auf „Was-wäre-wenn“-Fragen zu genießen,



oder einfach nur um dem persönlichen Interesse an der Technik, dem Maschinenbau, der Informatik, der Entwicklung oder der Konstruktion an sich nachzugehen. Faktoren, wie Platz, Zeit und finanzieller Aufwand spielen oft auch eine nicht unwesentliche Rolle, welchen Grad an Komplexität und Realitätsnähe so ein Simulator erreicht. Weiters müsste der Simulator einigen Prüfungen seitens der FAA/JAA unterzogen werden, um als zertifiziertes Trainingsgerät qualifiziert zu werden.

Um den strengen Richtlinien für solch ein Trainingsgerät zu folgen, ist es somit einerseits essentiell, dass jene Hardware-Teile, die als Interaktions-Schnittstelle zum Piloten dienen (Instrumente, Display-Software, Instrumentenbrett-Replikas und Steuerungen), komplett in Optik, Haptik und Verhalten mit dem Original ident sind und eine hohe Qualitätsgüte aufweisen.

Zusätzlich dazu muss auch die korrekte, schnelle und synchrone Interaktion mit der Simulationssoftware gewährleistet sein. Die verantwortliche Aufgabe, diese Anforderung zu erfüllen liegt ganz allein beim Simulator-Entwickler selbst.

Trotzdem ist der Autor davon überzeugt, dass es möglich ist, Heimflugsimulatoren als professionelle Trainingsgeräte zu konzipieren. Die besten Chancen für eine potentielle Einsatzmöglichkeit sieht er im Bereich der Instrument-Based-Simulatoren (siehe Abschnitt I, Kapitel 6.2.2). Korrekt umgesetzt, könnte ein solcher Simulator zumindest als Part-Task-Trainer (PTT) genutzt werden.



*Abb 5.10.Q A-320 Simulator aus Hardware von Flightdeck Solutions*

Aber schon allein der Einsatz der Glass-Cockpit-Software und der FMS- und MCP-Simulation von Project Magenta, in Kombination mit adäquater Hardware als Interaktions-Schnittstelle für die Piloten (Autopiloten-Konsole von CPFlight, FMS-Bedieneinheit von Engravity, 2-3 PC-Monitore für die Anzeige von PFD, ND, EICAS und FMS-Display) könnte auch durchaus als Cockpit-Procedure-Trainer (CPT) für die Bedienung des Autopiloten und/oder des Flight-Management-Computers dienen. Selbst das Vorhaben, einen Heimflugsimulator so zu konstruieren, sodass er als offizieller FNPT (Typ I) zertifiziert werden könnte, wäre nach Meinung des Autors durchaus realisierbar. Die Dokumentation der technischen Voraussetzungen, die dafür erforderlich wären, bzw. die konkrete Vorgehensweise zur Realisierung eines solchen Projekts würden den Rahmen dieser Arbeit inhaltlich sprengen. Es sollte aber durchaus als Motivation für anknüpfende Forschung gesehen werden, sei es in Form eines Praktikums, Universitätsprojekts oder einer schriftlichen Dokumentation.

## **ANHANG**

### **Danksagung**

Mein Dank gilt vor allem Herrn Univ. -Prof. Dr. Ing. Gerhard Helge Schildt für die Betreuung und die motivierende Unterstützung bei dieser Arbeit. Durch sein entgegengebrachtes Vertrauen für die erfolgreiche Umsetzung dieses Themas und seine interessanten und wertvollen Schilderungen aus seinem Erfahrungs-Schatz, leistete er einen großen Beitrag zur Motivation des Autors.

Weiters möchte ich mich herzlich bei Rene und Helmut - meinen Eltern - bedanken, die als geduldige und gewissenhafte Lektoren einen überaus wertvollen Beitrag zum Fertigstellen dieser Arbeit leisteten.

Speziellen Dank möchte ich auch meinem Freund Marco Arienti widmen, der mir nicht nur bei Fragen zum Layoutstil und der Formatierung bereitwillig zur Seite stand, sondern u.a. auch bei der eigentlichen Themenfindung für diese Magister-Arbeit als erster Motivator diente; und Hans-Georg Schütz, der seine Erfahrung und Know-How in der Flugsimulations-Branche mit mir teilte, zur Reflexion verschiedenster Aspekte anregte und wertvolles Bildmaterial für diese Arbeit zur Verfügung stellte.

Zuguterletzt bedanke ich mich auch bei der Firma Pro Toura Flight Events GmbH für die Ermöglichung eines Besuchs im Lufthansa Flight Training Center in Wien Schwechat. Durch einen Simulatorflug und informative Interviews diverser fachkundiger Personen, wurde mir ein detaillierter Einblick in die Branche des professionellen Simulatortrainings ermöglicht.

## Abkürzungen

AC	-	Advisory Circular
ADI	-	Attitude Direction Indicator
APU	-	Auxilliary Power Unit
ATC	-	Air Traffic Control
ATG	-	Approval Test Guide
CDI	-	Course Deviation Indicator
CDU	-	Control and Display Unit
CGI	-	Computer Generated Imagery
COTS	-	Commercial Of The Shelf
CPT	-	Cockpit Procedure Trainer
CRM	-	Crew Resource Management
DOF	-	Degrees Of Freedom
EASA	-	European Aviation Safety Agency
EICAS	-	Engine Indication and Crew Alerting System
FAA	-	Federal Aviation Administration
FFS	-	Full Flight Simulator
FMC	-	Flight Management Computer
FMS	-	Flight Management System
FNPT	-	Flight Navigation Procedure Trainer
FS	-	Flight Simulator
FTD	-	Flight Training Device
GPS	-	Global Positioning System
HSI	-	Horizontal Situation Indicator
IG	-	Image Generator
IFR	-	Instrument Flight Rules
ILS	-	Instrument Landing System
IMC	-	Instrument Meteorological Conditions
IOS	-	Instructor Operating Station
JAA	-	Joint Aviation Authorities
JAR	-	Joint Airworthiness Requirements
LDS767	-	Level-D Simulation 767-300 Addon
MCP	-	Mode Control Panel
ND	-	Navigation Display
OBS	-	Omni Bearing Selector
PCATD	-	PC-based Aviation Training Device
PC-EFS	-	PC-based Entertainment Flight Simulators
PFD	-	Primary Flight Display
PPL	-	Private Pilot Licence
PTT	-	Part Task Trainer
QTG	-	Qualification Test Guide
SDK	-	Software Developer Kit
STD	-	Synthetic Training Device
VFR	-	Visual Flight Rules
VOR	-	Very High Frequency Omnidirectional Range

## Index

### 3

3D-Effekt 26, 44, 51, 115

### A

Abnormal-Checkliste 94, 102  
 Acceleration Onset Cueing 27  
 Addon 54, 91  
 Advisory Circular Reports 38  
 Air Traffic Control 52, 56, 80  
 Airline Simulator 43  
 Airline-Screening 109  
 All-In-One-Lösungen 127  
 Analysetool 78  
 Approval Test Guide 37  
 APU-Start 96  
 Ariane Design 108  
 Artwick, Bruce 49  
**Audio-System** 26

### B

Basic-Flying-Skills 61  
 Basiskonzept 82  
 Bedienungs-Elemente 125  
 Beispielflug 73, 101  
 Beschleunigung 27  
 Betriebssystem 112  
 Bewegung 26  
 Bewegungs-System 26  
 Bildwiederholrate 115  
 Blindflugtraining 15

### C

CAE 25, 29  
 CGI 21, 24  
 Check-Ride 18, 91, 109  
 CH-Products 122  
 Client 126  
 Cockpit  
   Anzeigen 23  
   Instrumente 23  
 Cockpit Procedure Trainer 32  
 Cockpit Resource Management 18  
 Collimated Displays 26  
 Computergrafik 21  
 Computerspiel 34  
 COTS 25  
 CPT 32  
 Crew Resource Management 90  
 CRM-Training 18, 90

Cross Country Flight 88

### D

Daten-Kommunikation 113  
 Degrees Of Freedom 27  
 Demonstration 110  
 Demonstrationsvideo 110  
 Dowson, Peter 55, 125

### E

Eigenkreativität 130  
 ELITE 42  
 Engravity 128, 129, 131, 146  
 EPIC 50, 123  
 Evans & Sutherland 25, 115

### F

FAA 30, 35  
   Zulassung 35, 81, 131  
 Fallbeispiel 96, 98, 101  
 Federal Aviation Administration 30, 35  
 Fehler-Szenarios 93  
 FFS 21, 30  
 Field Of View 25, 36  
 Fixed Simulator 31  
 Flight and Navigation Procedures Trainer 31  
 Flight Gear 46  
 Flight Training Device 31, 111  
 Flight Unlimited 45  
 Flightdeck Solutions 128  
 Flugphysik 64  
 Flugschulung 57, 109  
 Fly! 45  
 FNPT 31, 111, 133  
 Force-Feedback-Joystick 64  
 FSUIPC 55, 125  
 FTD 31, 111  
 Full Flight Simulator 21, 30

### G

General-Aviation 129  
 Generische Cockpit-Instrumente 127  
 Glass Cockpit 125  
 Grafik 21, 24, 114  
 Grafik-Engine 116

### H

Haptik 64  
 Heimflugsimulatoren 50, 55, 122, 131

Hexapod 17, 27  
 Homebuild Simulatoren 122  
 Home-Cockpit 50, 55, 122  
**Host-System** 21  
 Hydraulik 27

**I**

IFR-Rating 38, 42, 69  
 IFR-Training 42, 68, 71  
 Image Generator 24, 111, 114  
 Image-Generator 117  
 Informal Flight Training 118  
**Instructor Operating Station** 28  
**Instrument Based Simulator** 32  
 Instrumente 41, 70, 125, 129  
 Instrumentenflug 68  
 Instrumenten-Scan-Technik 70  
**IOS** 28  
 IO-Schnittstellenhardware 129

**J**

JAA 30, 35  
 JAR 37  
 Joint Airworthiness Requirements 37  
 Joint Aviation Authority 30, 35  
 Joystick 61, 122

**K**

Kollimations Display 17, 26, 115  
 Krafrückkoppelung 23, 63

**L**

Lehrmethode 57, 59, 82, 109  
 Lehrstoff-Vermittlung 119  
 Lerneffizienz 57  
 Level-A 36  
 Level-B 36  
 Level-C 37  
 Level-D 37  
 Level-D Simulations 767 91  
 Linktrainer 15

**M**

Mesh-Terrain 25, 114  
 Microsoft ESP 117  
 Microsoft Flight Simulator 47  
   Erweiterbarkeit 54  
   Geschichte 46, 48  
   Untersuchung 61  
   Versionen 48  
 Militärische Luftfahrt 14

Mockup 9, 50, 122  
 Multiplayer 56

**O**

Orientierung 66, 110

**P**

Panel-Fixation 67  
 Part Task Trainer 120, 132  
 Part-Task Trainer 32  
 PC Aviation Training Device 33  
 PCATD 33, 38, 40, 80  
   Anforderungen 41  
   Steuerung 41  
 PC-based Simulator 33  
 PC-EFS  
   Anforderungen 57  
   Definition 34, 39  
   Erweiterbarkeit 50, 54  
   Fehlersimulation 70, 93  
   Flugmodell 64  
   Modularisierung 116  
   Nachteile 59, 61, 62, 66, 85  
   Potential 39  
   Produkte 44  
   Steuerung 61  
   Vorteile 58, 69, 90, 109, 118  
 Performance 112  
**Pilotenschnittstelle** 22  
 Pinch-Hitter-Kurs 118  
 PMGD 108  
 Präsentation 110  
 Precision Simulator 1 43  
 Primärfluginstrumente 110  
 Primary Flight Display 125, 133  
 Proficiency-Checks 91  
 Project Magenta 52, 125, 131, 133  
 Projektoren 25, 110  
 ProPilot 44  
 Prozeduren 95  
 PTT 32

**Q**

Qualification Test Guide 37  
 Qualification Test Guide 36  
 Qualifikation 31, 35  
 Qualifikations-Stufen 36

**R**

Rechenleistung 112  
Rendering 24  
Replikas 125, 127, 128, 132

**S**

Sanders Teacher 15  
Schiratti, Enrico 52  
Screenshots 110  
Server 126  
Server-Client-Architektur 126  
Servomotor 23, 129  
Sicherheit 13, 18  
Sichtfeld-Einschränkung 67  
Sicht-System 16, 24, 25, 114  
Simulator Sickness 28  
Simulatoren  
    **Anforderungen** 20  
    **Forschung** 11  
    Geschichte 15  
    **Kategorisierung** 30  
    Lehrziele 18  
    Meilensteine 15  
    Qualifizierung 35  
    Technik 21  
    Vorteile 12  
    Zertifizierung 30, 35, 37  
    Zweck 10  
Software-Addons 54  
STD 30  
Steuerung 23, 41, 61, 122, 127  
Sublogic 48

Synthetic Training Device 30  
System-Logik 113  
Szenerie-Addon 85, 114

**T**

Transfer  
    Negativer 40, 59  
    Positiver 40, 60  
Triebwerk-Start 98

**U**

Überwachung 29  
Unterhaltungsindustrie 34

**V**

Verantwortung 118  
Verfahrenstrainer 33  
Versuch-und-Irrtum 82, 83  
Verteiltes System 126  
VFR-Training 84  
Virtuelle Fluglotsen 56  
VOR-Navigation 73

**W**

Wahrnehmungskanäle 110  
Washout Phase 27  
Whirlwind 16  
WideFS 125

**X**

X-Plane 45, 47

## Literaturverzeichnis

### Bücher:

THE BOEING COMPANY (1999): "767-31A/-3Z9 Operations Manual - Lauda Air"

VAN WEST, JEFF; LANE-CUMMINGS, KEVIN (2007): "Microsoft Flight Simulator X for Pilots Real World Training".

Indiana, Verlag: Wiley Publishing, Inc.; ISBN: 978-0-7645-8822-8

WILLIAMS, BRUCE (2006). "Microsoft Flight Simulator as a trainings aid".

Washington; Verlag: asa, Aviation Supplies & Academics, Inc.; ISBN: 987-1-56027-670-8

### Papers:

ZYSKOWSKI, MICHAEL (2003) Aircraft Simulation Techniques Used in Low-Cost, Commercial Software. Texas.

### Zeitschriften:

BARRINGTON, DAVID (2005). „Testing the Level-D 767-300“. PC Pilot. UK: Juli/Aug 2005 Nr.35

DOWSON, PETER (2001). „Der FSUIPC-Entwickler im Interview: Peter Dowson“. FlightXPress. Juni 2001, Nr.6.

SCHÄFER, STEFAN (2000). „Im Flug ein echter Simulator...“. FlightXPress. Feb./März. 2000, Nr.1.

STÖRING, MARC (2002). „Realistischer Ueberflieger?“. FlightXPress. Februar 2002, Nr.02



## Online-Quellen:

Aero Invent: Entwicklung des "Qualification Test Analyzer"

URL: [http://www.aeroinvent.de/referenzen/flugmessdaten\\_auswertung.html](http://www.aeroinvent.de/referenzen/flugmessdaten_auswertung.html)

(Stand: 28.07.08)

Airliners.de: Geschichte der Flugsimulatoren.

URL: <http://www.airliners.de/industrie/sonderthemen/simulatoren/geschichte.php> (Stand: 29.07.08)

ARMSTRONG, STEVE: Flightsim.com TopEd: Real vs Virtual, 2001,

URL: [http://www.flightsim.com/cgi/kds?\\$\\$=main/op-ed/ed159.htm](http://www.flightsim.com/cgi/kds?$$=main/op-ed/ed159.htm) (Stand: 07.07.08)

COOKE, ZACH: Flightsim.com TopEd: Flightsimming And VFR/IFR Training, 2001,

URL: [http://www.flightsim.com/cgi/kds?\\$\\$=main/op-ed/ed152.htm](http://www.flightsim.com/cgi/kds?$$=main/op-ed/ed152.htm)

(Stand: 07.07.08)

DAVITT, JOE: Flightsim.com TopEd: PC Training For Real Pilots, 2001,

URL: [http://www.flightsim.com/cgi/kds?\\$\\$=main/op-ed/ed113.htm](http://www.flightsim.com/cgi/kds?$$=main/op-ed/ed113.htm)

(Stand: 7.7.08)

Evans & Sutherland Computer, 2006

URL: <http://www.es.com/news/2006/012306.asp> (Stand: 02.10.08)

FAA AC121-14B: Aircraft Simulator Evaluation and Approval, 1978,

URL: [http://www.faa.gov/safety/programs\\_initiatives/aircraft\\_aviation/nsp/flight\\_training/ac/media/121\\_14b.pdf](http://www.faa.gov/safety/programs_initiatives/aircraft_aviation/nsp/flight_training/ac/media/121_14b.pdf) (Stand: 02.08.08)

FAA AC61-126: Qualification an approval of personal computer-based aviation training devices, Mai. 1997,

URL:

[http://rgl.faa.gov/Regulatory\\_and\\_Guidance\\_Library/rgAdvisoryCircular.nsf/8ce3f88c034ae31a85256981007848e7/d0d8cda61e05eb90862569ba0052b8f6/\\$FILE/ATTX70JX/AC61-126.pdf](http://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rgAdvisoryCircular.nsf/8ce3f88c034ae31a85256981007848e7/d0d8cda61e05eb90862569ba0052b8f6/$FILE/ATTX70JX/AC61-126.pdf)

(Stand: 02.08.08)

GABBAI, JONATHAN: The Art of Flight Simulation, 2001,

URL: <http://gabbai.com/academic/the-art-of-flight-simulation> (Stand: 02.08.08)

HAVLÍK, JOSEF: History of Microsoft Flight Simulator, Czech Flight Simulator History Website, 2008,

URL: <http://www.volny.cz/havlikjosef/fshistoryenglish.htm> (Stand: 09.08.08)

HORIZON Aviation, 2008

URL: <http://www.horizonaviation.ca> (Stand: 29.09.08)

ILS Flightforum.ch, 2002a

URL: <http://www.flightforum.ch/forum/showthread.php?t=5151&page=2>

(Stand: 07.07.08)

ILS Flightforum.ch, 2002b

URL: <http://www.flightforum.ch/forum/showthread.php?t=5151&page=5>

(Stand: 07.07.08)

JÄGER, MARKUS: Fliegerarztlehrgang E/11, 2003,

URL: [http://www.flugmed.org/pdf/skripte/Akademie\\_Flugmedizin\\_nov2003.pdf](http://www.flugmed.org/pdf/skripte/Akademie_Flugmedizin_nov2003.pdf)

(Stand: 02.08.08)

JAR-STD 1A: Aeroplane Flight Simulators, 2003

URL: <http://www.jaat.eu/publications/section1.html> (Stand: 02.08.08)

Luftfahrt-Bundesamt: II 93/98 - Bekanntmachung der Richtlinie über die Anforderungen an synthetische Flugübungsgeräte für Flugzeuge und das Lehrpersonal an Flugübungsgeräten für Flugzeuge, 1998

URL: [http://www.lba.de/nn\\_53958/SharedDocs/download/NfLs/nfl\\_ii9398,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/nfl\\_ii9398.pdf](http://www.lba.de/nn_53958/SharedDocs/download/NfLs/nfl_ii9398,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/nfl_ii9398.pdf)

(Stand: 03.08.08)

Microsoft ESP, 2007

URL: <http://www.microsoft.com/esp> (Stand: 04.10.08)

MOORE, KEVIN: A Brief History of Aircraft Flight Simulation, 2006

URL: <http://homepage.ntlworld.com/bleep/SimHist1.html> (Stand: 29.07.08)

MUELLER, VOLKER: Flightsim.com TopEd: Effects Of Flightsimming On Real Flying, 2001,

URL: [http://www.flightsim.com/cgi/kds?\\$\\$=main/op-ed/ed140.htm](http://www.flightsim.com/cgi/kds?$$=main/op-ed/ed140.htm) (Stand: 07.07.08)

POPE, BILL: Flightsim.com TopEd: Training In Virtual Aviation... What's The Point?, 2001,

URL: [http://www.flightsim.com/cgi/kds?\\$\\$=main/op-ed/ed110.htm](http://www.flightsim.com/cgi/kds?$$=main/op-ed/ed110.htm) (Stand: 07.07.08)

Precision Flight Controls, Inc, 2007

URL: <http://www.flypfc.com> (Stand: 16.07.08)

ROESLER-SCHMIDT, ANDREAS: 20 Jahre Microsoft Flight Simulator, 2003, Monitor,

URL: <http://www.monitor.co.at/index.cfm/storyid/6050> (Stand: 08.08.08)

SMITH, NICK: Flightsim.com TopEd: Real World Aviation, 2001,

URL: [http://www.flightsim.com/cgi/kds?\\$\\$=main/op-ed/ed125.htm](http://www.flightsim.com/cgi/kds?$$=main/op-ed/ed125.htm) (Stand: 07.07.08)

Space-Island Simulationszentrum: Die Geschichte der Simulatoren, 2005  
URL: <http://spaceisland.minisysweb.de/geschichte.html> (Stand: 29.07.08)

WILLIAMS, BRUCE: Flight Simulator as a Training Aid, 2007  
URL:  
<http://www.fsinsider.com/freeflight/Pages/FlightSimulatorasaTrainingAid.aspx>  
(Stand: 08.07.08)

WITT, RANDY; MEYER, AUSTIN: Interview with Austin Meyer and Randy Witt of Laminar Research, 2005  
URL: <http://forum.macologist.org/showthread.php?t=1676> (Stand: 19.09.08)

XING, KAI: Flightsim.com TopEd: Flight Simulation To An Instrument Student, 2001,  
URL: [http://www.flightsim.com/cgi/kds?\\$\\$=main/op-ed/ed212.htm](http://www.flightsim.com/cgi/kds?$$=main/op-ed/ed212.htm) (Stand: 07.07.08)

### **Wikipedia:**

Artikel Flight Simulator. (Juni 2008) In Wikipedia, The free Encyclopedia.  
Zugriff am 16.07.08. von [http://en.wikipedia.org/wiki/Flight\\_simulator](http://en.wikipedia.org/wiki/Flight_simulator)

Artikel History of Microsoft Flight Simulator (September 2008) In Wikipedia, The free Encyclopedia.  
Zugriff am 09.08.08 von  
[http://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_Microsoft\\_Flight\\_Simulator](http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_Microsoft_Flight_Simulator)

Artikel Flugsimulation. (Juni 2008) In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie.  
Zugriff am 29.07.08 von <http://de.wikipedia.org/wiki/Fahr Simulator>

Artikel Microsoft Flight Simulator. (September 2008) In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie.  
Zugriff am 19.09.08 von [http://de.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Flight\\_Simulator](http://de.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Flight_Simulator)

## Quellenverzeichnis der Abbildungen

### Abschnitt I

- Abb 5.1.A Christian Nagl (2008), Vienna Aviation Campus / Schwechat
- Abb 5.1.B Eigene Darstellung
- Abb 5.2.A Hans-Georg Schütz (2008), Vienna Aviation Campus / Schwechat
- Abb 5.5.A Christian Nagl (2008), Vienna Aviation Campus / Schwechat
- Abb 5.6.A Christian Nagl (2008), Vienna Aviation Campus / Schwechat
- Abb 5.6.B Hans-Georg Schütz (2008), Vienna Aviation Campus / Schwechat
- Abb 6.1.A Christian Nagl (2008), Vienna Aviation Campus / Schwechat
- Abb 6.2.A URL: <http://www.aerothur.com/about0.html>, Stand: 19.09.08
- Abb 6.3.A ELITE Simulation Solutions  
URL: <http://www.flyelite.ch/en/products/basicatd.php>  
Stand: 19.09.08

### Abschnitt II

- Abb 5.1.A Williams, Bruce (2006). Microsoft Flight Simulator as a trainings aid. Washington: asa. S.30.
- Abb 5.1.B Williams, Bruce (2006). Microsoft Flight Simulator as a trainings aid. Washington: asa. S.30.
- Abb 5.2.B Instrument Commercial Manual (1996).Colorado: Jeppesen, S.1-45.
- Abb 5.2.C -  
Abb 5.2.M Eigene Darstellung

- Abb 5.6.A Flugwerk Design (2008)  
URL: [http://www.flugwerk.at/images\\_fsx/shot\\_028.JPG](http://www.flugwerk.at/images_fsx/shot_028.JPG), Stand: 14.10.08
- Abb 5.6.B, C Eigene Darstellung
- Abb 5.6.D Julius Silver: Foto-Julius - Webseite  
URL: <http://www.foto-julius.at/wien3/W2242+.jpg>  
Stand: 21.09.08
- Abb 5.6.E Google Earth (2008)
- Abb 5.6.F MegaScenery X Hawai - Webseite  
URL: [http://www.megascenery.com/images/fsx/2/2007-1-6\\_14-52-9-937.jpg](http://www.megascenery.com/images/fsx/2/2007-1-6_14-52-9-937.jpg), Stand: 21.09.08
- Abb 5.6.G MegaScenery X Hawai - Webseite  
URL: [http://www.megascenery.com/images/fsx/2/2007-1-6\\_14-50-21-31.jpg](http://www.megascenery.com/images/fsx/2/2007-1-6_14-50-21-31.jpg), Stand: 21.09.08
- Abb 5.6.H, I Eigene Darstellung
- Abb 5.6.J Die österreichische Film Commission  
URL: <http://www.location-austria.at/de/luftaufnahmen.aspx>,  
Stand: 21.09.08
- Abb 5.7.A David Sperry auf Airliners.net (2008)  
URL: <http://www.airliners.net/photo/Hawaiian-Air/Boeing-767-33A-ER/1338842/M>, Stand: 5.10.08
- Abb 5.7.B Eigene Darstellung
- Abb 5.7.C Tchavdar Kostov auf Airliners.net (2004)  
URL: <http://www.airliners.net/photo/Asiana-Airlines/Boeing-767-328-ER/0602124/L/>, am 5.10.08
- Abb 5.7.D Eigene Darstellung

- Abb 5.7.E      Lauda Air 767 Operations Manual (1999) The Boeing Company
- Abb 5.7.F      Eigene Darstellung
- Abb 5.7.G      Lauda Air 767 Operations Manual (1999) The Boeing Company
- Abb 5.10.A     URL: <http://www.pccasegear.com/images/ch-200-615.jpg>,  
Stand: 11.10.08
- Abb 5.1.B      FS Pilot Shop, (2008)  
URL: [http://www.fspilotshop.com/images/ch\\_PP\\_full.jpg](http://www.fspilotshop.com/images/ch_PP_full.jpg),  
Stand: 11.10.08
- Abb 5.10.C     Precision Flight Controls, Inc., (2007)  
URL: <http://www.flypfc.com/jpegs/Saab-Yoke.jpg>, Stand: 11.10.08
- Abb 5.10.D     Christian Nagl (2008)
- Abb 5.10.E     Eigene Darstellung
- Abb 5.10.F     Project Magenta  
URL: <http://www.projectmagenta.com/products/group747.jpg>,  
Stand: 11.10.08
- Abb 5.10.G     Eigene Darstellung
- Abb 5.10.H     ITRA GmbH, (2003)  
URL: <http://sim.itra.de/AirDeutsch/gallery/module1.jpg>,  
Stand: 13.10.08
- Abb 5.10.I     GoFlight, (2008)  
URL: [http://www.goflightinc.com/order/images/airliner4\\_2\\_06.jpg](http://www.goflightinc.com/order/images/airliner4_2_06.jpg),  
Stand: 13.10.08
- Abb 5.10.J     CPflight, (2008)  
URL: [http://www.cpflight.com/images/FCU\\_web1.jpg](http://www.cpflight.com/images/FCU_web1.jpg),  
Stand: 13.10.08

- Abb 5.10.K Fly Engravity, (2008)  
URL:  
[http://www.flyengravity.com/products/large\\_00000011\\_0003.jpg](http://www.flyengravity.com/products/large_00000011_0003.jpg),  
Stand: 13.10.08
- Abb 5.10.L Rick Cabana, Flightdeck Solutions, (2004)  
URL:  
[http://www.flightdecksolutions.com/\\_assets/images/products/330-large.jpg](http://www.flightdecksolutions.com/_assets/images/products/330-large.jpg), Stand: 13.10.08
- Abb 5.10.M Flight Illusion, (2008)  
URL:  
<http://simflight.com/wp-content/uploads/2008/09/flightillusion-gsa-70.jpg>,  
Stand: 13.10.08
- Abb 5.10.N Simkits, (2008)  
URL: <http://www.simkits.com/pictures/Attitude%20500.jpg>,  
Stand: 13.10.08
- Abb 5.10.O Christian Nagl, (2007)
- Abb 5.10.P Michael & David Lehkamp, (2004)  
URL: <http://www.avsim.com/project757/pics/transition5.html>,  
Stand: 13.10.08
- Abb 5.10.Q Flightdeck Solutions  
URL:  
[http://www.flightdecksolutions.com/\\_assets/images/products/589-large.jpg](http://www.flightdecksolutions.com/_assets/images/products/589-large.jpg), Stand: 13.10.08



*Ohne Worte- (Quelle: Ritsch & Renn, Die Presse, 2007)*



*Der Autor in einem A320-Level-D-FFS im Lufthansa Flight Training Center, Wien*