

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
INSTITUT FÜR INFORMATIK

SYSTEMENTWICKLUNGSPROJEKT

ENTWICKLUNG EINES SYSTEMS ZUR DREIDIMENSIONALEN VISUALISIERUNG  
VON LUFTRÄUMEN FÜR VFR-PILOTEN

VON

FRANZ MADER

AUFGABENSTELLERIN:  
Prof. Gudrun Klinker

BETREUER:  
Dipl.-Ing. Stephan Eelman

## Inhalt

1. Motivation des Systementwicklungsprojekts	3
2. Sectional Charts	4
2.1. Luftraumklassen	4
2.2. Weitere Luftraumbeschränkungen	9
2.3. Navigation	11
3. Informationsdarstellung im Cockpit	13
3.1. Instrumentenüberblick	13
3.2. Airliner / Learjets	14
3.3. Militärjets	16
3.4. VFR-Propellermaschinen	17
4. Systemanforderungen	18
4.1. Fluginformation	18
4.2. Navigationsinformation	19
4.3. Interaktion mit dem Piloten	20
5. Erstellung eines Prototypen	21
5.1. Funktionalität des Systems	21
5.2. Exemplarisches Flussdiagramm einer Interaktion mit dem Piloten	27
6. Diskussion von Problemen und Alternativen	29
6.1. Bodendarstellung	29
6.2. Höhendarstellung	31
6.3. Implementierung	32
7. Schlusswort	33
8. Quellenangaben	34

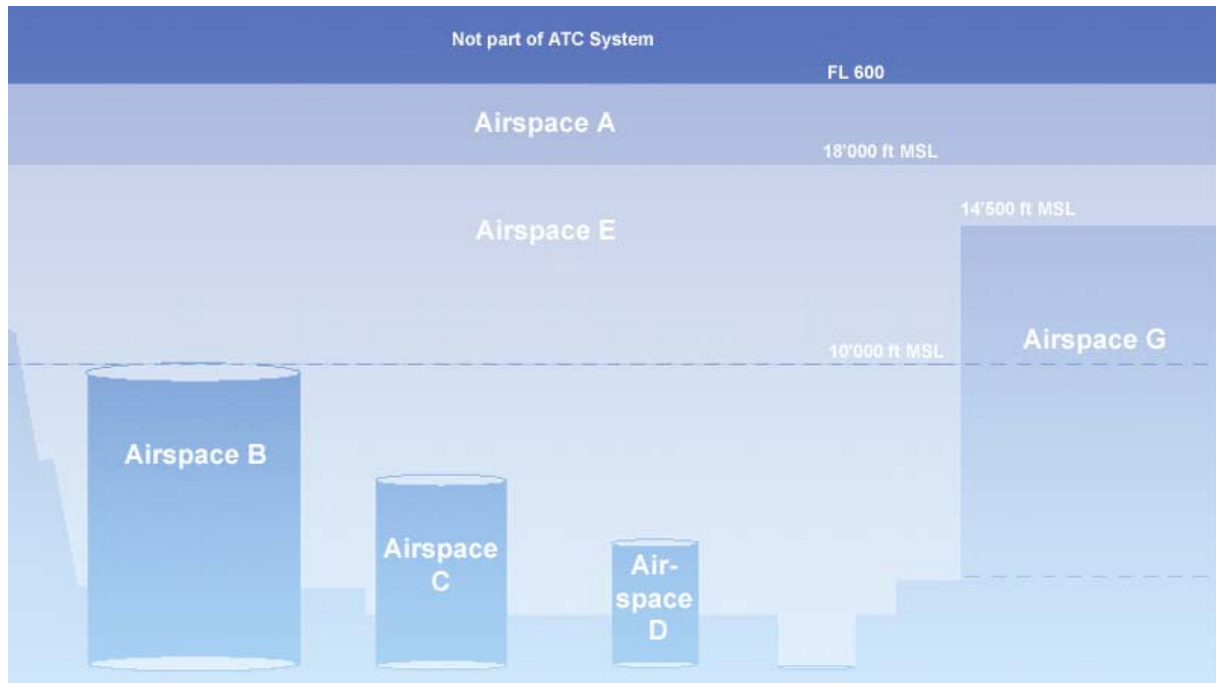
## *1. Motivation des Systementwicklungsprojekts*

Das folgende Systementwicklungsprojekt soll einen Grundstein im Systemdesign eines Programms zur 3-dimensionalen Visualisierung von Luftraumkarten für VFR-Piloten legen. Ziel ist die Entwicklung eines Systems, welches den Piloten kleiner Maschinen im unteren Luftraum bei der Navigation unterstützt und insbesondere in kritischen Situationen (z.B. plötzlicher Wetterumbruch, der die Fortsetzung des geplanten Fluges nicht zulässt) durch sofortige intuitive Vermittlung der aktuellen Fluglage bei der Entscheidungsfindung entlastet bzw. ihm navigatorische Arbeit abnimmt. Der Schwerpunkt liegt hier absolut auf dem Stichwort „Situational Awareness“, was heißen soll, dass dem Flugzeugführer auf einen Blick eine Vorstellung von dem ihn umgebenden Luftraum vermittelt wird. Schwerpunktmäßig handelt es sich hierbei um die Visualisierung der gesetzlich geregelten Lufträume und Luftraumbeschränkungen, deren Missachtung schwerwiegende Folgen haben kann. Während heutige Airliner und Learjets mit sogenannten „Glass Cockpits“ modernster Generation ausgestattet sind, was bedeutet, dass fast sämtliche Informationen digital und grafisch aufbereitet sind, was übrigens auch den Trend in der Militärflugzeugentwicklung beschreibt, fliegen im Gegensatz dazu VFR Piloten (quasi der „Sonntags-Schönwetter Flieger“ mit seiner Cessna 172) heute immer noch mit analoger Instrumentierung nach Koppelnavigation, einer Technik, die ihre Ursprünge in den 50er Jahren hat. Hierbei soll der revolutionäre Einzug des GPS (Global Positioning System) jedoch nicht verschwiegen werden, dessen mittlerweile sehr preisgünstigen Endgeräte sich nun wohl auch Eigentum eines fast jeden Privatpiloten nennen dürfen. Da das US-amerikanische GPS jedoch auch heute noch vom US-Militär gesteuert wird (und somit auch verfälscht oder abgeschaltet werden kann), dürfte auch weiterhin seine Zulassung als Primärnavigationsinstrument, welches damit natürlich als sicherheitskritisch einzustufen ist, auf sich warten lassen. Dennoch soll das hier zur Entwicklung stehende System auf eben diesem GPS als Informationsquelle für Flugposition, Kurs, Geschwindigkeit etc. basieren, da es sich in der Vergangenheit als sehr zuverlässig und extrem präzise erwiesen hat. Insbesondere seit der Freigabe des Präzisionscodes durch das US-Militär (vorher war das zivil zugängliche Signal etwa um den Faktor 10 verschlechtert worden, und die genauen Daten waren nur durch die Eingabe eines Krypto-Keys zugänglich) erreicht GPS heute eine durchschnittliche Positionsgenauigkeit auf etwa 10m und genauer.

## 2. Sectional Charts

### 2.1. Luftraumklassen

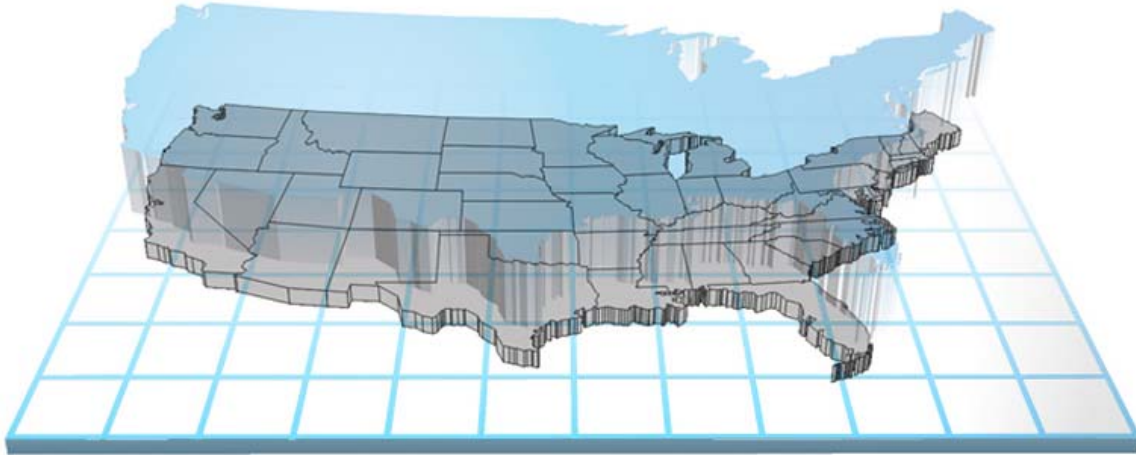
Der US-amerikanische Luftraum gliedert sich in verschiedene Luftraumklassen, abhängig von Lage und Höhe. Folgendes Profil stellt die Höhenschichtung dar:



Die Obergrenze des kontrollierten Luftraumes liegt bei Flight Level 600 (= 60'000 ft, entspricht in etwa 18,3 km Höhe). Normale Linienmaschinen (mit Ausnahme der Concorde) fliegen im Reiseflug für gewöhnlich zwischen 30'000 ft und 45'000 ft. Im Steig- bzw. Sinkflug durchqueren sie natürlich alle Höhenschichten. Linienmaschinen fliegen generell nach IFR (Instrument Flight Rules - Instrumentenflug), d.h. sie sind mit der notwendigen Bordausstattung ausgestattet, um ohne Sicht zu fliegen. Im allgemeinen haben diese Maschinen Vorrang vor VFR-Fliegern (Visual Flight Rules - Sichtflug). Nun folgend soll jede einzelne Luftraumklasse etwas genauer betrachtet werden.

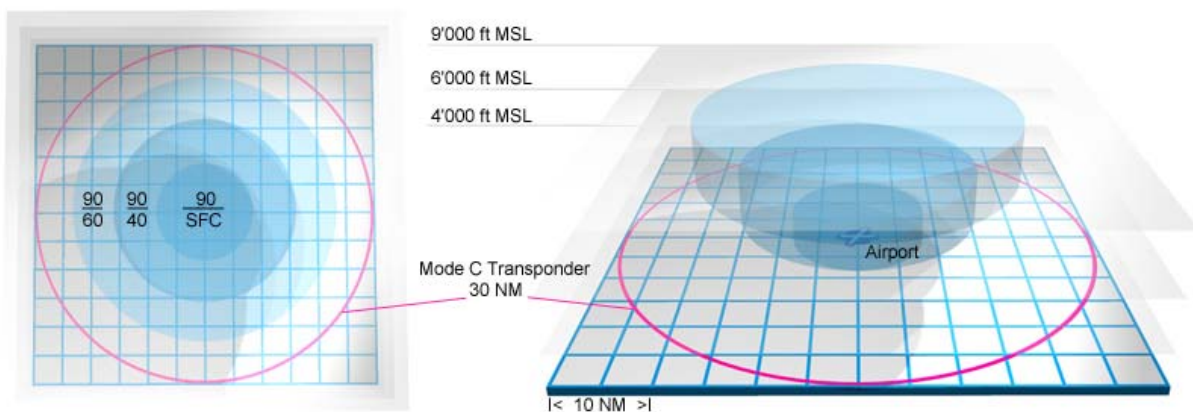
## Class A Airspace

Der Luftraum der Klasse A beginnt bei einer Untergrenze von 18'000 ft und reicht bis zu 60'000 ft. In ihm ist ausschließlich Instrumentenflug zulässig. Er erstreckt sich über das gesamte Territorium der USA. Des weiteren beinhaltet er an den Küsten den Luftraum über den Ozeanen innerhalb der 12 Meilen Grenze.



## Class B Airspace

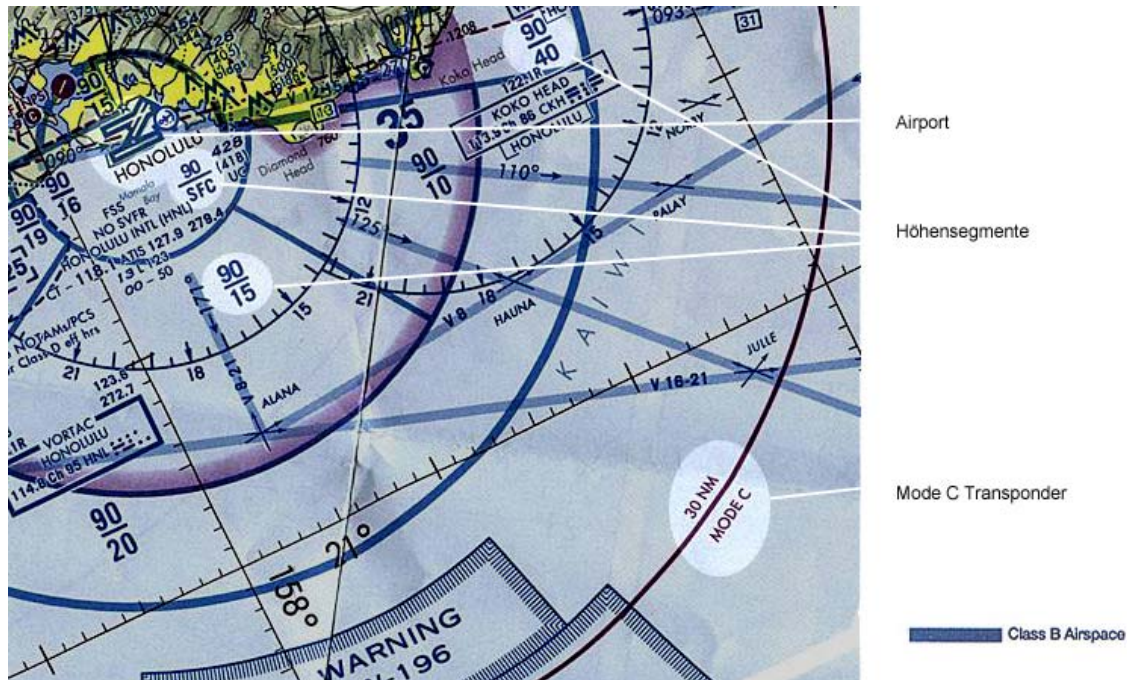
Lufträume der Klasse B wurden in den Vereinigten Staaten rund um die 34 verkehrsreichsten Flughäfen eingerichtet. Sie sind generell konzentrisch ausgerichtet, wobei ihre Ausdehnung mit wachsender Höhe zunimmt. Der Kern misst im allgemeinen einen Radius von 5 bis 15 NM (nautische Meilen, entspricht ca. 1.96 km) und erstreckt sich von der Erdoberfläche bis zu einer Höhe von 8'000 bis 10'000 ft. Mit zunehmender Höhe wächst die Ausdehnung des Luftraums bis auf einen Radius von 20 bis 30NM an.



Klasse B Lufträume werden auf der Karte durch blaue Ringe dargestellt, wobei jeder dieser Ringe einer Höhengschicht entspricht und mit zwei Zahlen versehen ist, welche die Ober- bzw. Untergrenze des jeweiligen Segments angeben. Weiterhin ist es üblich, dass der Einflug in die 30 Meilen Zone eines Klasse B Airport ausschließlich mit einem Mode-C Transponder

zulässig ist. Ein Transponder ist ein Gerät an Bord eines Flugzeugs, welches entsprechend des eingegebenen vierstelligen Transpondercodes ein Identifikationssignal aussendet, welches am Boden empfangen werden kann.

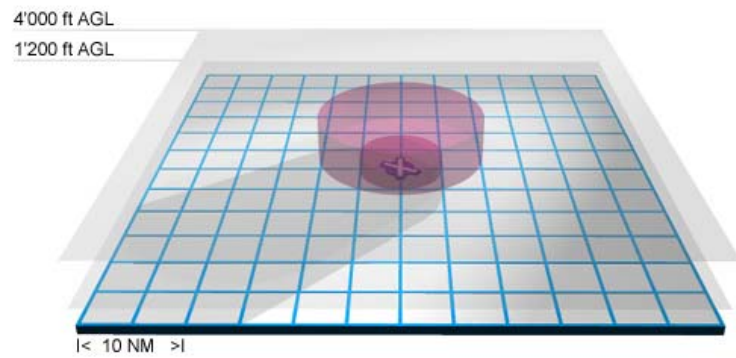
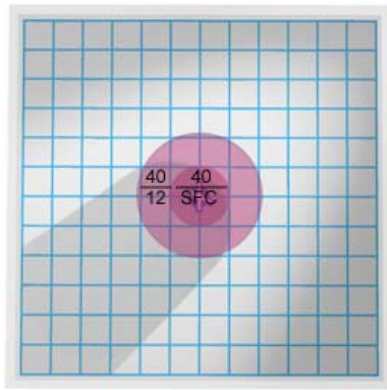
Zusätzlich übermittelt ein Modus C-Transponder die aktuelle Flughöhe, womit dem Fluglotsen nun eine exakte Positionsbestimmung des Flugzeugs möglich ist.



Wie in der abgebildeten Flugkarte zu sehen ist, beschränkt sich die Einteilung in Höhensegmente nicht strikt auf drei zylindrische Volumina. Vielmehr sind die Höhensektoren individuell an die verschiedenen Gegebenheiten der Klasse B Großflughäfen angepasst. So kann man dem Kartenausschnitt für Honolulu bereits deutlich mehr Segmente entnehmen (90/SFC, 90/10, 90/15, 90/16, 90/19, 90/20, 90/40).

### Class C Airspace

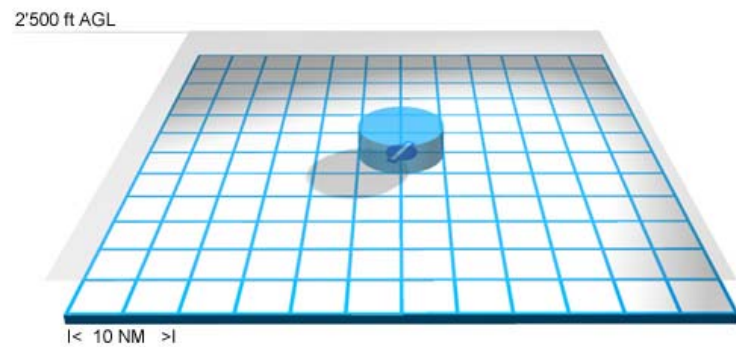
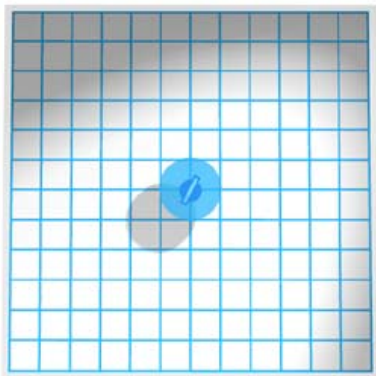
Lufträume der Klasse C existieren derzeit um etwa 130+ Flugplätze in den USA. Sie haben zwar nicht die Größe, um als Klasse B eingestuft zu werden, dennoch ist ihr Verkehrsaufkommen so hoch, dass eine Funk- und Radarkontrolle des Luftraums notwendig ist. Der Kern des Luftraums misst hierbei einen Radius von 5 NM, er dehnt sich ab einer Höhe von 1'200 ft AGL bis zu einer Höhe von 4'000 ft AGL auf einen Radius von 10 NM aus.



Luftraum der Klasse C wird auf den Sektionskarten mit durchgezogenen violetten Grenzen markiert. Ebenso wie bei der Klasse B kann die Gestalt und Ausdehnung auch hier den Örtlichkeiten angepasst sein. Wichtig ist zu beachten, dass die Höhenangaben bei Klasse C in Höhe über dem Grund (AGL, above ground level) und nicht über dem Meeresspiegel (MSL, mean sea level) angegeben wird!

#### Class D Airspace

Lufträume der Klasse D umschließen alle übrigen Flugplätze, die über einen ständig besetzten Tower verfügen, jedoch keiner der vorherigen Kategorie angehören. Sie haben zylindrische Form mit einem Radius von 5 NM und einer Höhe von ca. 2'500 ft über Grund (AGL).



In den Sectional Charts wird Klasse D Luftraum durch eine blau gestrichelte Linien markiert. Die Obergrenze des zylindrischen Luftraums, welcher stets bis zum Boden reicht, wird in 100 ft-Schritten angegeben; diese Zahl ist mit blauen Ecken versehen.



## Class E Airspace

Zum Luftraum der Klasse E zählt jeglicher kontrollierter Luftraum, welcher keiner der vorhergehenden Klassen angehört. Er erstreckt sich in der Höhe immer bis zum darüberliegenden kontrollierten Luftraum. Nach unten reicht er im allgemeinen bis 1'200ft AGL, sofern nichts anderes in der Karte vermerkt ist. Er kann jedoch, meist im Umkreis von Flughäfen und deren Anforderungen in Form und Ausdehnung entsprechend, bis auf 700ft AGL(magenta schattiert) oder sogar bis zur Oberfläche hinunterreichen (magenta gestrichelt).



## Uncontrolled Airspace

Unkontrollierter Luftraum (Klasse G) findet sich nun überall dort, wo keiner der bisher genannten Lufträume existiert. Im allgemeinen erstreckt er sich deshalb abseits von Flughäfen von der Oberfläche (SFC) bis zu 1'200ft AGL. Zu beachten ist hierbei, dass er sich jedoch auch erheblich höher ausdehnen kann, beispielsweise wenn die Untergrenze des über ihm



liegenden Klasse E Luftraums jenseits von 1'200ft AGL liegt. Die maximale Höhengausdehnung des unkontrollierten Luftraums liegt bei 14'500ft MSL. Klasse G Luftraum ist in der Karte nicht vermerkt. Es ist also immer davon auszugehen, dass er unterhalb des niedrigsten Luftraums liegt und bis zur Erdoberfläche hinabreicht.

## 2.2. Weitere Luftraumbeschränkungen

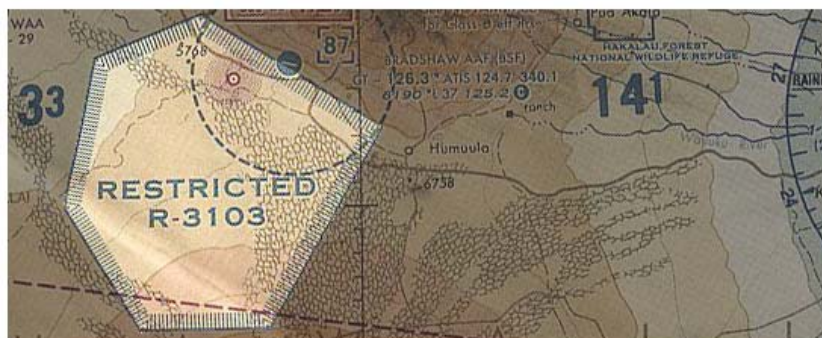
Neben den bisher aufgezeigten Luftraumklassen, welche für den Durchflug notwendigen Sichtflugminima, Funkverkehr, Luftfahrzeugausstattung etc. regeln, gibt es eine Reihe weiterer Beschränkungen, welche auf Gefahren oder Verbote aufmerksam machen.

### Prohibited Areas - Luftsperrgebiete

Hierbei handelt es sich um speziell markierte Gebiete, deren Durchflug generell verboten ist, beispielsweise aus Gründen der nationalen Sicherheit wie dem Capitol in Washington D.C., oder besonders sensible Einrichtungen wie militärische oder nukleare Anlagen. Genauere Angaben können aus einer Tabelle auf der Rückseite der Luftraumkarte entnommen werden.

### Restricted Areas - Flugbeschränkungsgebiete

Ebenso wie bei den Luftsperrgebieten ist auch hier das Eindringen in das Gebiet untersagt, hierbei gilt die Sperre jedoch nur für gewisse Zeitabschnitte. Informationen hierzu sind ebenfalls tabellarisch vermerkt.



R-3103 Restricted Area



W-196 Warning Area



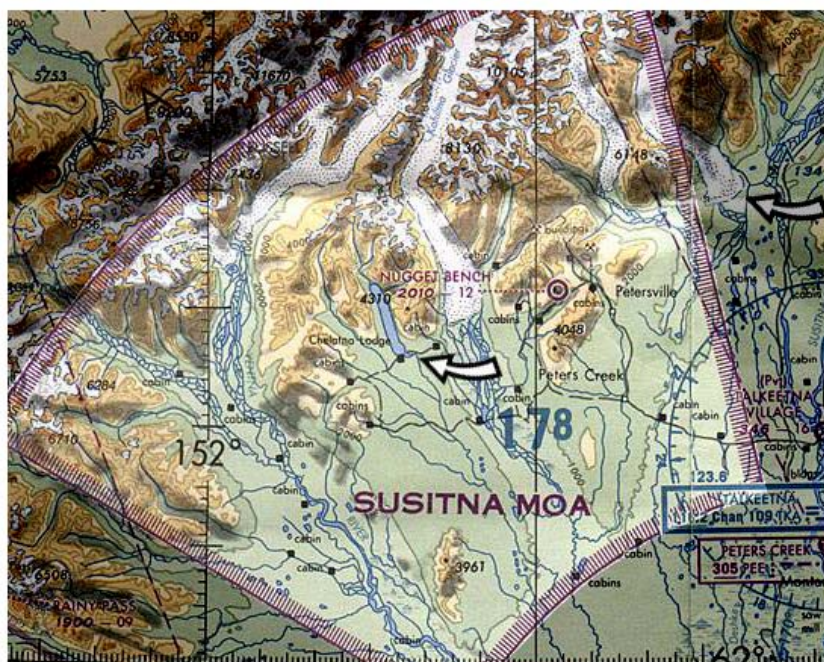
### Warning Areas - Gefahrengebiete

Hierbei handelt es sich um gesondert markierte Gebiete, in welchen aufgrund ihrer Lage eine erhöhte Gefahr für durchfliegende Flugzeuge besteht. Gründe hierfür können beispielsweise

starke elektromagnetische Wellen von Bodenstationen oder intensive Luftbewegungen in diesem Gebiet (z.B. Flugmeisterschaften) sein.

### MOA - Military Operations Area - militärische Operationsgebiete

Military Operations Areas sind, wie der Name schon sagt, Gebiete, in denen militärische Flugbewegungen stattfinden und unter anderem auch scharf geschossen wird, Luftkämpfe simuliert werden sowie Tiefflüge mit hoher Geschwindigkeit stattfinden. Während der Durchflug für IFR-Flüge gesondert geregelt wird, bestehen für VFR Piloten keinerlei Beschränkungen, das Gebiet zu durchfliegen. Dies sollte jedoch bei militärischem Flugbetrieb nur mit allergrößter Vorsicht geschehen. Vorher sind unbedingt Erkundigungen über aktuelle Flugaktivitätszeiten bei der FSS (Flight Service Station) einzuholen.



"Sustina" Military Operations Area

### Wildlife Area - Naturschutzgebiete

Eine weitere Einschränkung für den tieffliegenden Luftverkehr sind Wildlife Areas. Sie werden auf der Karte explizit dargestellt. In diesem Areal, welches aus Natur- oder Artenschutzgründen eingerichtet wurde, ist eine Mindestflughöhe von 2'000ft AGL geboten, wenn auch nicht zwingend vorgeschrieben.



Hakalau Forest National Wildlife Area

### 2.3. Navigation

Neben den Luftrauminformationen finden sich in den Aeronautical Charts noch eine Vielzahl anderer Informationen. Zu den wichtigsten zählen diejenigen, die dem Piloten zur Navigation dienen. Dies sind (neben markanten Geländepunkten wie Berggipfel, Flüsse und Seen, Straßenkreuzungen etc.) künstliche Funkfeuer, die sich wie ein Netz über die Landschaft ziehen und mit geeigneten Bordgeräten angepeilt werden können. Man unterscheidet hier zwischen NDBs, DMEs und VORs / VORTACs.

Diese sollen nun in ihren Grundzügen vorgestellt werden, auf eine genauere Betrachtung ihrer Funktionsweise bzw. Benutzung soll an dieser Stelle jedoch verzichtet werden. Zweifellos sehr interessant, würde es jedoch zu weit vom eigentlichen Thema wegführen.

#### NDB - Non Directional Beacons / ADF - Automated Direction Finder

Nondirectional Beacons, oder ungerichtete Funkfeuer, sind Sendestationen, die auf festgelegten Frequenzen ein omnidirektionales Signal aussenden, welches vom ADF-Gerät eines Flugzeuges empfangen werden kann. Somit kann der Pilot feststellen, in welcher Richtung von ihm aus die Station liegt. Er erhält jedoch keinerlei Entfernungsinformation. Durch Anpeilen zweier möglichst orthogonal liegender Stationen kann der Pilot aber seinen Standort durch Schnitt der Peilgeraden ermitteln.



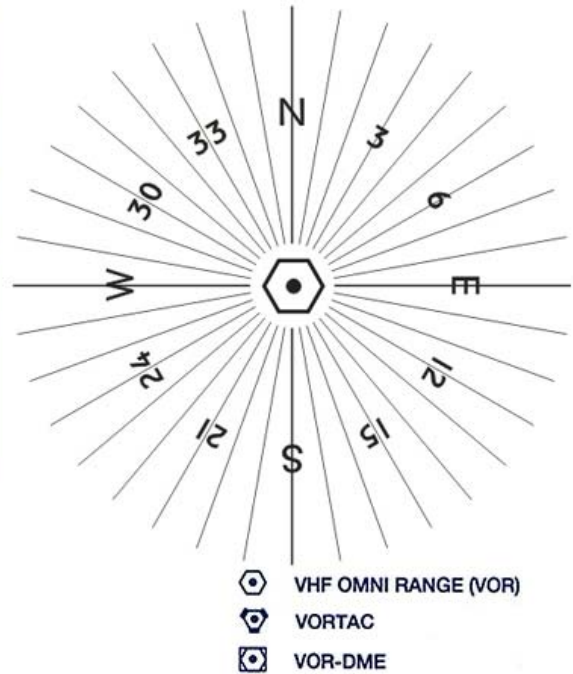
#### DME - Distance Measurement Equipment

Ganz im Gegenteil zum eben beschriebenen NDB liefert die DME Bodenstation dem Flugzeugführer die Abstandsinformation zwischen der Station und dem Flugzeug auf etwa 0,1 NM genau, jedoch keinerlei Richtungsangaben! Wichtig ist, dass dieser Abstand eigentlich nicht die gewünschte Information ist. Denn er misst ja die Hypotenuse zwischen Flieger und Station, nicht aber die Kathete auf der Erdoberfläche (die gewünschte planare Abstandsgröße). Trägt man also die vom Gerät abgelesene Entfernung in die Karte ein, so ist diese Position weiter vom NDB weg als die tatsächliche, und dieser Fehler erhöht sich mit der Flughöhe.

#### VOR - Very High Frequency Omnidirectional Radio / CDI Course Deviation Indicator

Das bevorzugte Navigationsmittel bei der Koppelnavigation stellt das gerichtete Drehfunkfeuer (VOR) mit dem dazugehörigen Cockpitinstrument, dem Course Deviation Indicator (CDI), dar. Hierbei wird es dem Piloten ermöglicht, das Radial zu ermitteln, auf welchem er sich befindet. Die Radiale stelle man sich als "Speichen" vor, welche von der VOR-Station in alle Richtungen zeigen und in Winkel-Grad unterteilt sind. Darüber hinaus wird dem Piloten angezeigt, ob er sich bezüglich eines Radials auf das VOR zu oder von ihm

weg bewegt (TO/FROM Flag im CDI). Häufig sind VORs mit DMEs kombiniert, um zusätzlich zur relativen Position zum VOR auch noch eine Entfernungsangabe zur Verfügung zu stellen. Somit genügt eine einzige VOR-DME Station, um die Position des Luftfahrzeugs eindeutig zu bestimmen. Aufgrund dieser Eigenschaften stellen VORs die Knotenpunkte der Luftstraßen dar, wodurch über ihnen das Verkehrsaufkommen natürlich dementsprechend hoch ist.



### 3. Informationsdarstellung im Cockpit

#### 3.1. Instrumentenüberblick

Wenden wir uns nun für einen Moment von der Navigation ab und betrachten, welche Fluginformationen dem Piloten zur Verfügung stehen. Man kann die einzelnen Instrumente grob klassifizieren, und zwar in

##### 1. Hauptflugüberwachungsinstrumente

- Fahrtmesser (Airspeed)
- Künstlicher Horizont (Attitude)
- Höhenmesser (Altitude)
- Wendezeiger (Turn Coordinator)
- Kurskreisel (Course Indicator)
- Variometer (Vertical Speed Indicator)

##### 2. Navigations- und Kommunikationsinstrumente

- CDI 1&2 (Course Deviation Indicator)
- ADF (Automated Direction Finder)
- NAVCOM1
- NAVCOM 2
- Transponder
- Autopilot

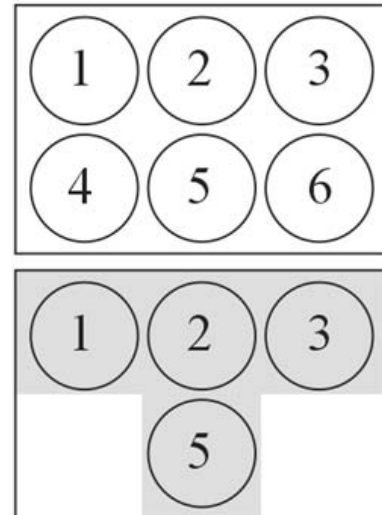
...

##### 3. Triebwerküberwachungsinstrumente

- Drehzahlmesser
- Öltemperatur- / Öldruckmesser
- Abgastemperaturmesser (Exhaust Gas Temperature) / Kerosindurchflussmesser (Fuel Flow)
- Treibstoffanzeige (Fuel Quantity Indicator)
- Unterdruckanzeige / Strommesser

...

In diesem Abschnitt widmen wir uns der ersten Gruppe, also den Hauptflugüberwachungsinstrumenten. Diese gehören zu den absolut wichtigsten Anzeigen und finden sich vom Segelflugzeug bis zum Jumbojet in jedem Flugzeug am Armaturenbrett direkt vor dem Piloten wieder. Wegen ihrer Wichtigkeit hat sich auch eine standardisierte Anordnung durchgesetzt, diese sieht wie folgt aus:



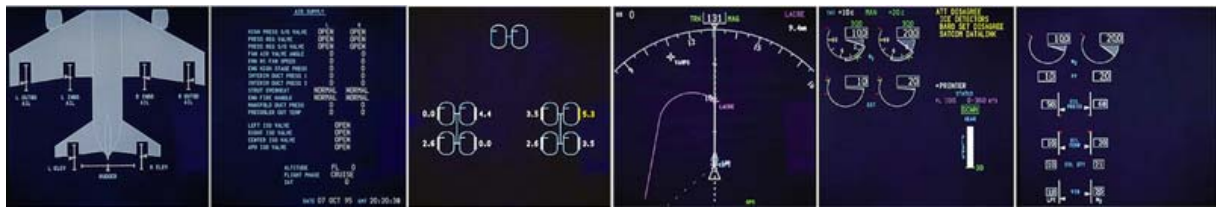
Die sechs Instrumente werden in zwei übereinanderliegenden Dreierreihen angeordnet, wobei die obere Reihe aus dem Fahrtmesser (1), dem künstlichen Horizont (2) und dem Höhenmesser (3), die untere Reihe aus Turn Coordinator (4), Kurskreisel (5) und Variometer (6) besteht. Innerhalb dieser sechs Instrumente hebt man wiederum die vier wichtigsten durch die sogenannte "T-Anordnung" hervor. (1,2,3 in der ersten Reihe, 5 in der zweiten Reihe). Je nach Flugabschnitt (Start, Steigflug, Reiseflug, Landeanflug ...) gibt es bestimmte Blickfolgen, d.h. eine Reihenfolge, wann und wie oft jedes Instrument abgelesen wird. Auch hier spielen die vier "T-Instrumente" eine zentrale Rolle.

### 3.2. Airliner/Learjets

Bei modernen Airlinern wie der A320/330/340 oder einer Boeing 737NG / 777 findet man kaum noch analoge Anzeigen im Cockpit. Hier wurde der Schritt zur digitalen Datendarstellung in den letzten Jahren bereits beschritten, um so dem Piloten eine Auswahl an 'Pages' mit verschiedenen Informationen zur Verfügung zu stellen, die er sich je nach Bedarf auf den Schirm holen kann.



Hier ein paar Beispiele:



Betrachten wir nun das Primary Flight Display (PFD) etwas im Detail. Es fasst alle Hauptflugüberwachungsinstrumente in einer gemeinsamen Darstellungsform zusammen. Einzig fehlend ist der Turn Coordinator (Instrument #4), da dieser bei entsprechenden Flugzeugen dank des Flugreglers überflüssig wird (die Steuerung des Seitenruders beim Fliegen einer koordinierten Kurve - wofür der Turn Coordinator benutzt wird - übernimmt die Steuerlogik entsprechend dem vom Piloten geflogenen Neigungswinkel). Alle anderen Hauptflugüberwachungsinstrumente finden sich in meist digitaler Darstellungsform wieder. Man beachte, dass auch die Positionen der Anordnung im Analogcockpit entsprechen, also Airspeed (in Knoten und als Machzahl) links, Attitude mittig, Altitude rechts, Course mittig unten, das Variometer (Instrument #6, eigentlich unten rechts) aber wurde zur Altitude (3) nach oben versetzt, da ja die Steig-/Sinkrate unmittelbar mit der Flughöhe zusammenhängt. Darüber hinaus werden noch weitere Daten angezeigt, wie z.B. der Gleitpfad, Autopiloteinstellungen und Funknavigationsinformationen.



Es bleibt festzuhalten dass es mit dem PFD erreicht wird, dem Piloten die Information von mehr als 5 Analoginstrumenten in einem klar strukturierten Display zu vermitteln. Durch Farbcodierungen (blau, magenta, grün), intuitive Darstellungsarten (Instrument #5, als Kreisscheibenausschnitt (ähnlich einem Kompass), Instrument #3 in 'Leiterdarstellung' mit 'Ablesefenster') und definierte Positionen der einzelnen Daten gelingt es, eine Vielzahl von verschiedenen Informationen auf einem Display darzustellen, ohne den Piloten durch die Datenflut zu überschwemmen oder verwirren.

### 3.3. Militärjets

Noch einen Schritt weiter gehen die modernen Kampfflugzeuge des Militärs. Da hier das fliegen beinahe zur Nebensache wird, da der Pilot ja auch noch seine Waffensysteme bedienen muss und unter Umständen unter Feindbeschuss steht, hat man dieselbe Idee wie beim PFD angewandt, viele Daten in einer Darstellungsform zu vereinigen. Diese werden nun jedoch nicht mehr auf einem Display angezeigt, wofür der Pilot zum ablesen seinen Blick senken müsste, sondern direkt in sein Sichtfeld auf ein sogenanntes Head-up Display (HUD) eingespiegelt.



Auch beim Head-up Display finden wir die Hauptflugüberwachungsinformationen an den zu erwartenden Stellen (wie gehabt: Airspeed & Machzahl links, Attitude zentral, Höhe rechts, Heading mittig unten). Das HUD liefert dem Piloten jedoch noch eine große Anzahl weiterer Informationen wie Richtungs- und Entfernungsangabe zum nächsten vorprogrammierten Wegpunkt, geschätzte Flugdauer und Ankunftszeit, Anstellwinkel des Flugzeugs, seitliche Drift etc. Darüber hinaus sind noch verschiedene Zusatzanzeigen mit diversen HUD Modi (z.B. Luft/Luft, Luft/Boden, Nav) assoziiert.

Werfen wir an dieser Stelle noch einen Blick auf die Gestaltung der Multi-Funktion Displays (MFDs). Wie bei den im vorherigen Kapitel beschriebenen Airlinern sind auch die MFDs in der Lage, eine Vielzahl von Pages darzustellen. Doch im Vergleich zu den zivilen Displays findet hier statt reiner Informationsvermittlung vielmehr eine starke Interaktion zwischen dem Piloten und den im Display repräsentierten Systemen statt. Deshalb sind sie von Tastenreihen umgeben (den OSBs, Option Selection Buttons), die ihre Funktionen mit der dargestellten Seite dynamisch ändern. Die gegenwärtige Funktionsbelegung jeder einzelnen Taste wird deshalb direkt an ihrer Stelle im Display durch ein mnemotechnisches Kürzel festgelegt.





### 3.4. VFR-Propellermaschinen

Blicken wir zum Abschluss dieses Kapitels noch in das Cockpit einer gewöhnlicher Propellermaschine (hier z.B. einer Cessna 172), so stellen wir mit Ernüchterung fest, dass hier die Digitaltechnik noch keinen Einzug gefunden hat. Die Gründe hierfür sind mannigfaltig, in letzter Konsequenz jedoch meist eine Frage des Geldes.



Während also Linien- wie Militärpiloten durch Aufbereitung der Flugdaten eine große Erleichterung erfahren, fliegen Privatpiloten immer noch mit analoger Technik, was einen klaren Mehraufwand an Konzentration auf die Instrumente mit sich bringt. Aber gerade diese Gruppe von Piloten ist es, die das fliegen meist nicht als Beruf (also ständig), sondern eher in der Freizeit ausübt, und somit auf eine wesentlich geringere Anzahl von Flugstunden (und damit Erfahrung) zurückblickt. Gerade bei reinen VFR-Piloten (quasi nur mit Grundflugberechtigung) steigt somit das Unfallrisiko bei Eintreten unerwarteter Situationen (Schlechtwetter, Systemausfälle ...) dramatisch an.

#### 4. Systemanforderungen

Wir sind nun in der Lage, die Grundanforderungen an das zu entwickelnde System zu formulieren, welche dann in den folgenden Unterkapiteln präzisiert werden. Oberste Direktive soll die Gewährleistung der 'Situational Awareness' durch Wiedergabe eines klaren, intuitiven Überblicks über die momentanen Fluglage sei.

1. Fluginformation: graphische Darstellung der Primärflugdaten (als Backupsystem zu den Analoginstrumenten)
2. Navigationsinformation: graphische Aufbereitung der aktuellen Flugposition zu navigatorischen Zwecken
  - Flugkartenprojektion
  - dreidimensionale Raumdarstellung
  - Luftraumdarstellung (Airspaces, Areas ...)
3. Interaktion mit dem Piloten: Warnung bei Erkennung von drohenden Gefahrensituationen

##### 4.1. Fluginformation

Da das System GPS-basierend ausgelegt ist, sollen dem Piloten folgende Daten zur Verfügung gestellt werden, anhand welcher er die korrekte Funktion seiner Instrumente überprüfen kann (Backup-Funktion). Hierbei greifen wir auf diejenigen Daten zurück, welche man vom GPS neben der Positionsbestimmung quasi 'umsonst' mitbekommt.

- Ground speed (Fluggeschwindigkeit über Grund)

Zu Beachten ist, dass dem Piloten auf seinem Airspeed Indicator eine andere Fluggeschwindigkeit (Indicated Airspeed) angezeigt wird, welche über ein Pitotrohr und einen Staudrucksensor ermittelt wird. Diese hängt zwar unmittelbar mit der aerodynamischen Umgebung des Flugzeuges zusammen (wetter- und höhenabhängiger Luftdruck, Wind...), verfälscht jedoch die wahre Bewegung relativ zur Erdoberfläche. Somit stellt eine Abweichung (in Maßen) keinen Fehler dar!

- Altitude

GPS liefert eine relativ genaue Höhenbestimmung des Flugzeuges über dem Meeresspiegel. Auch hier kann die GPS-Höhe zu der im Cockpit angezeigten Höhe variieren, da diese barometrisch bestimmt wird und damit ebenfalls wetterabhängig ist!

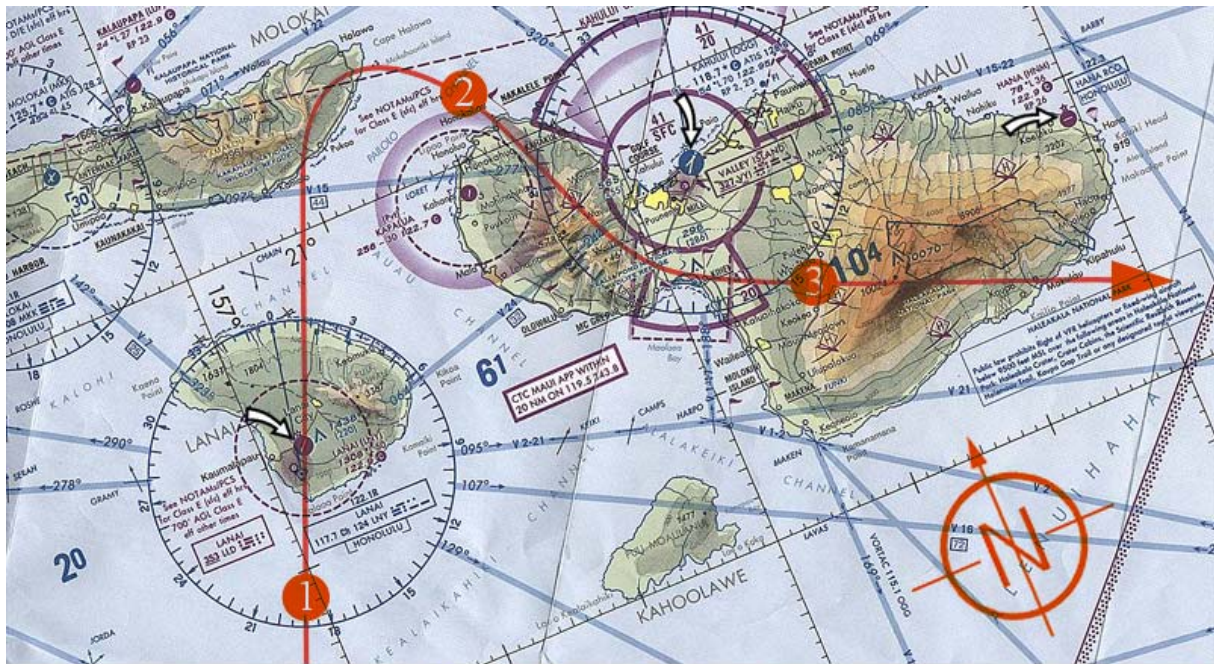
- Heading

Auch die Richtungsinformation soll durch das System dargestellt werden. Der Pilot verfügt über einen Magnetkompass und ein Kurskreiselgerät. Letzteres tendiert jedoch zum Driften und muss so ca. alle 15 min. mit Zuhilfenahme des Magnetkompasses nachjustiert werden. Die wahre magnetische Peilung erhält der Pilot, indem er die vom Kompass abgelesene Zahl um den Einbaufehler (mittels einer Tabelle) korrigiert.

## 4.2. Navigationsinformation

Ausgangspunkt ist hier eine in digitaler Form vorliegende Flugkarte (Aeronautical Chart). Erste Funktionalität soll eine sogenannte "Ground Moving Map" sein, das bedeutet, dass der aktuelle Kartenausschnitt der (sich ändernden) Position angepasst dargestellt wird. Der Ausschnitt bleibt also auf das eigene Flugzeug zentriert. Zusätzlich wird er automatisch eingeordnet, d.h. der Kartenausschnitt dreht sich beim Kurvenflug mit, sodass sich das vor dem Flugzeug befindliche Terrain auf der Karte im Display immer oben befindet.

Flight-track in der Karte...



...und im Ground Moving Map Display

Pos. (1) Heading 010, Flugzeug fliegt in nördliche Richtung

Pos. (2) Heading 160, Flugzeug fliegt in südliche Richtung

Pos. (3) Heading 105, Flugzeug fliegt östliche Richtung

Weiter soll es eine dreidimensionale Sicht geben, die obige Forderungen weiterhin erfüllt, es jedoch nun durch die zusätzliche Höhendarstellung ermöglicht, Lufträume und Sperrgebiete entsprechend ihrer Ausdehnung voluminös darzustellen. Die Perspektive soll der Sicht des Piloten aus dem Cockpitfenster entsprechen. Es soll dem Piloten dennoch möglich sein, die Menge an dargestellter Information zu reduzieren, er soll also dreidimensional eingblendete Objekte wie Lufträume etc. wegblenden können, falls er es wünscht.



#### 4.3. Interaktiver Dialog mit dem Piloten

Neben der Präsentation von Information soll das System zusätzlich in der Lage sein, den Piloten bei Erkennen einer möglichen Gefahrensituation zu warnen (visuell + akustisch).

Mögliche kritische Situationen sind beispielsweise:

- Unterschreiten einer bestimmten Flughöhe
- Überschreiten einer bestimmten Flughöhe
- Annäherung / Penetration eines Luftraums einer anderen Klasse

Neben Warnungen soll der Pilot jedoch auch aktiv unterstützt werden, beispielsweise ist denkbar, dass bei Einflug in einen Klasse C Luftraum dem Warnhinweis dieser Tatsache gleich noch die passende Tower Frequenz mitgeliefert wird, unter der sich der Luftfahrzeugführer anmelden kann.

## 5. Erstellung eines Prototypen

Nachdem nun die Anforderungen formuliert sind, ist es an der Zeit, einen Prototypen zu erstellen. Dieser soll die Richtung der konkreten Lösung vorgeben und als Diskussionsgrundlage dienen. Die Beschreibung seiner Funktionalität folgt in diesem Kapitel. Der erste Abschnitt behandelt grundlegende Funktionen, während der zweite exemplarisch eine Interaktionsfolge zwischen Pilot und System illustriert.

### 5.1. Funktionalität des Systems

Der hier abgebildete Prototyp basiert auf einem Multi-Function-Display (MFD, vgl. Kapitel 3.3), wobei die Funktionstasten, welche rund um den Bildschirmrand angeordnet sind, mit dem im Bildschirm angezeigten Funktionskürzel assoziiert sind. Ein farblich unterlegtes Kürzel bedeutet, dass die entsprechende Funktion aktiviert ist, normal geschriebene Mnemonics sind entweder deaktiviert oder bieten aufgrund ihrer Natur keine Unterscheidung. Zyklische Funktionstasten repräsentieren mehr als 2 Zustände. Hierbei beschreibt das Mnemonic den nächsten Zustand, in den das System bei Tastendruck wechselt.

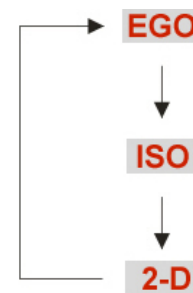
a) simple function

**ACK**

b) toggle function

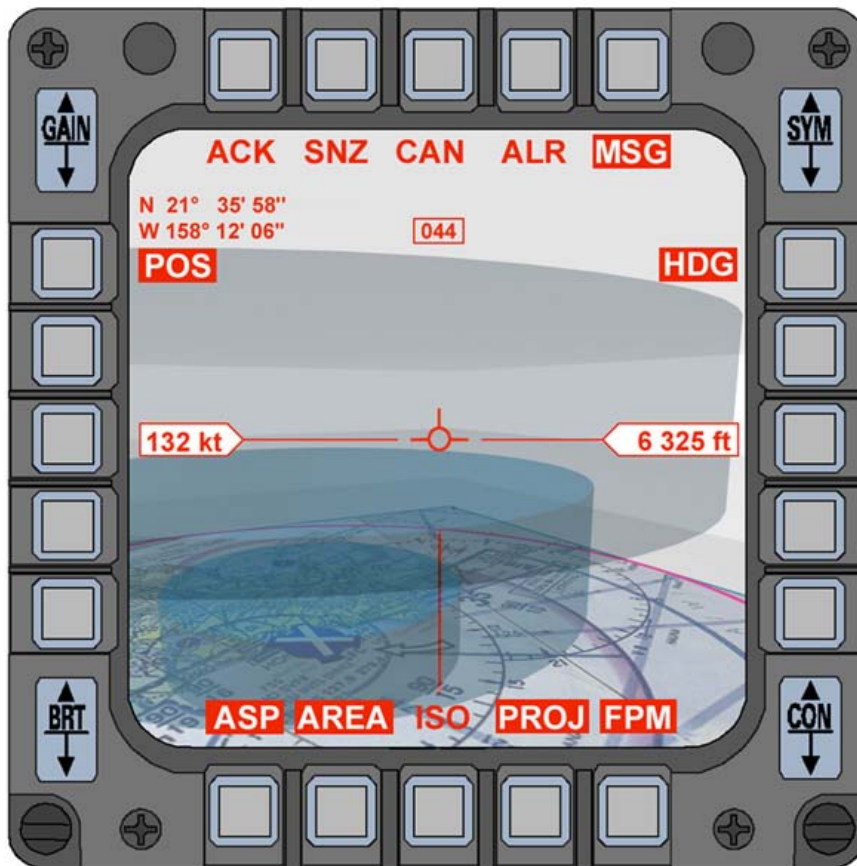


c) cyclic function



- a) Tastendruck bewirkt Ausführung der Aktion (hier: acknowledge)
- b) Tastendruck aktiviert/deaktiviert die Funktion
- c) Tastendruck wechselt in den nächsten Funktionsmodus

Obwohl die Wahl Taste – Funktionszuordnung beim Systemdesign prinzipiell beliebig ist, ist es dennoch sinnvoll, inhaltlich zusammengehörige Funktionen zu gruppieren, und deren Anordnung in verschiedenen Modi (Pages) wo möglich beizubehalten. So sind hier in der oberen Reihe alle Interaktionstasten gruppiert, links und rechts alle Tasten zu den Hauptflugüberwachungsdaten und in der unteren Reihe diejenigen Funktionen mit navigatorischem Inhalt.



Die Anzeige des dargestellten Prototypen beschreibt folgende Flugsituation, welche dem Betrachter sofort intuitiv klar sein sollte:

Das Flugzeug fliegt in einer aktuellen Höhe von 6'325 Fuß über dem Meeresspiegel mit einer Geschwindigkeit von 132 Knoten über Grund. Der Kurs beträgt 044 Grad (also nach Nordosten). Wir nähern uns dem Klasse B Luftraum von Honolulu, bei Beibehaltung der Höhe dringen wir in das oberste der drei Höhensegmente ein. Wie man der roten Kursprojektion (über dem [ISO] Mnemonic) entnimmt, würden wir bei Einhaltung des Kurses auch durch Einleitung eines Sinkflugs den Luftraum in jedem Fall verletzen. Auch leicht zu sehen ist, dass man durch Änderung des Kurses etwas nach Osten, also nach rechts, und verringern der Flughöhe den Klasse B Luftraum umfliegen könnte, indem man das mittlere Segment rechts passiert und unter dem obersten Segment 'durchtaucht'.

All diese Information wird durch die gewählte Darstellung sofort greifbar, wohingegen man bisher eine Vielzahl von Einzelschritten zur Erlangung dieses Wissens durchführen müsste:

- Standortbestimmung durch Schnitt zweier NDB Standlinien oder Anpeilung eines kombinierten VOR / DMEs.  
dazu: Frequenzen aus der Karte lesen, Frequenzen einstellen, Kurs am VOR einstellen.
- Kurs vom Kurskreisel ablesen (stimmt er noch mit Kompasskurs überein? Nachjustieren?)  
und in die Karte übertragen.
- Relevante Luftrauminformation aus der Karte lesen und interpretieren
- Höhenmesser ablesen: Welche Segmente werde ich schneiden, welche unter- / überfliegen?
- Welche Alternativen habe ich?

Zu beachten ist auch, dass die zweite Art der Informationsgewinnung immer nur ein Standbild einer Situation wiedergibt. Da sich aber Flugzeuge bekanntermaßen mit nicht unerheblicher Geschwindigkeit bewegen, ist ein solches 'Informations-Bild' schnell veraltet.

Gehen wir also nun auf die einzelnen Funktionen des Prototypen-Systems genauer ein betrachten hierzu zuerst die Funktionen mit Hauptflugüberwachungsdaten:

**POS** POSITION ON GPS-Positionskoordinaten werden oberhalb des [POS] Mnemonics im Sichtfeld angezeigt.

**POS** POSITION OFF GPS-Koordinaten werden nicht angezeigt.

Die Einblendung der aktuellen Koordinaten soll dem Piloten eine schnelle Bestimmung der eigenen Position in der Karte (der aus Papier) erleichtern. Zudem ermöglicht es ihm, geographische Punkte aufzufinden und anzufliegen, welche nicht in den Aeronautical Charts verzeichnet sind, deren exakte Positionskoordinaten er jedoch kennt.

Wird diese Funktion momentan nicht benötigt, so hat der Pilot die Wahl, die Anzeige auszublenden, um somit die Gesamtmenge an dargestellter Information zu verringern.



GROUND SPEED ON

GROUND SPEED OFF

Das GPS liefert einem Information, wie schnell man sich fortbewegt. Diese Geschwindigkeit bezieht sich auf die Erdoberfläche (deshalb: ground speed). Beim Flug in niedrigen Höhen und Windstille ist dieser Wert nahe an der angezeigten Fluggeschwindigkeit (indicated airspeed), mit zunehmender Höhe oder Wind divergieren die zwei Werte jedoch zunehmend. Ist die indicated airspeed diejenige Größe, die dem Piloten Aufschluss über die Relativgeschwindigkeit der das Flugzeug umströmenden Luft gibt, also unmittelbar mit dem fliegen zusammenhängt, so ist die ground speed die Größe, die ihm sagt, wie schnell er sich von Punkt A nach Punkt B fortbewegt. Um jedoch (beispielsweise bei starkem Gegenwind,  $GS < IAS$ ) nicht in Versuchung zu kommen, nach ground speed zu fliegen oder beide zu verwechseln, ist auch die GPS-Geschwindigkeitsangabe durch Tastendruck wegzublenden.

**HDG** HEADING ON GPS-Kompasskurs-Anzeige wird (oben mittig, im Beispiel '044') angezeigt.

**HDG** HEADING OFF GPS-Kursanzeigen deaktiviert (nicht angezeigt)

Der Pilot hat die Wahl, sich den GPS-ermittelten Kompasskurs anzeigen zu lassen, oder nicht. Wie in einem früheren Kapitel bereits erwähnt, stellt die Drift des Kurskreiselinstruments im Cockpit eine nicht zu vernachlässigende Störgröße dar, welche durch wiederholtes nachjustieren ausgeglichen werden muss. Referenz hierfür ist der Whiskey Kompass. Treten jedoch stärkere Turbulenzen auf, was bei kleinen Flugzeugen häufiger der Fall ist, wird dadurch das Ablesen erschwert. In diesem Fall kann die GPS-Größe als weitere Referenz verwendet werden.



ALTITUDE ON

ALTITUDE OFF

Auch die Höheninformation über Normal Null (also dem Meeresspiegel) wird vom GPS bereitgestellt. Diese wird, im Unterschied zum barometrischen Höhenmesser aus dem Cockpit, nicht über den Luftdruck bestimmt und unterliegt somit auch nicht den Wetterschwankungen (Hoch-/Tiefdruckgebiete). Generell fliegt man in niedrigen Höhen mit der Druckeinstellung entsprechend des aktuellen lokalen Tagesdrucks (QNH), in größeren Höhen geht man auf Standard-Atmosphärendruck über (QNE). Justiert man vor dem Start den Höhenmesser auf aktuellen Tagesdruck (QNH), so sollte dieser Wert mit der GPS-Anzeige übereinstimmen. Auch hier lässt sich wieder die Anzeige deaktivieren, um mögliche Verwechslungen auszuschließen.

Kommen wir nun zu den Funktionstasten mit den für die Navigation relevanten Belegungen:

**ASP** AIRSPACES ON Airspaces werden dreidimensional dargestellt (nur in [EGO] und [ISO] anwendbar)

**ASP** AIRSPACES OFF Airspaces werden nicht dreidimensional dargestellt (in [2-D] automatisch OFF)

Es ist dem Benutzer möglich, die dreidimensionalen Lufträume auszublenden. Dies ist insbesondere dann sinnvoll, wenn durch sie relevante Information verdeckt wird. Durch erneutes Drücken der [ASP] Taste erscheinen sie wieder.

Da in der 2-D Sicht die Karte orthogonal von oben betrachtet wird, sind in diesem Modus die 3-D Airspaces automatisch deaktiviert, da durch sie kein Informationsgewinn erfolgen würde.

**AREA** AREAS ON Warning, Restricted, Wildlife und Prohibited Areas werden angezeigt.

**ASP** AREAS OFF Warning, Restricted, Wildlife und Prohibited Areas werden nicht angezeigt.

Wie bei den Airspaces bleibt es auch hier dem Piloten überlassen, sich Flugbeschränkungsgebiete anzeigen zu lassen oder nicht. Das Ausblenden von Areas macht besonders dann Sinn, wenn das Gebiet überhaupt nicht aktiv ist. Dadurch obliegt es keinen Beschränkungen und seine gesonderte Darstellung wird überflüssig.

**EGO** EGO View 1st Person Blickwinkel: Sicht wie aus dem Cockpitfenster

**ISO** ISOMETRIC View 3rd Person Blickwinkel: Kamera außerhalb des Flugzeugs: isometrische Sicht

**2-D** 2-D MAP View 2-dimensionale Kartenansicht: Ground Moving Map

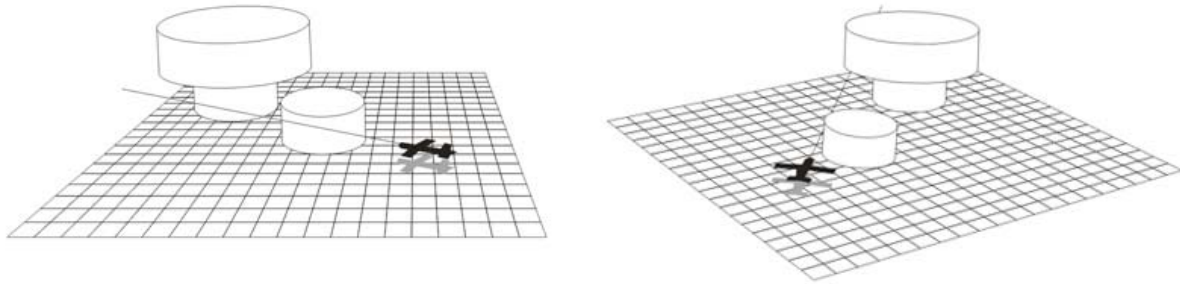
Diese Funktion ist eine der interessantesten des Systems. Die 2-D Ansicht bietet dem Piloten eine Ground Moving Map. Diese ist die simpelste Darstellungsform. Die Flugkarte wird von



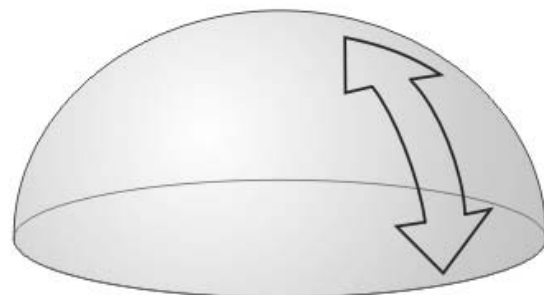
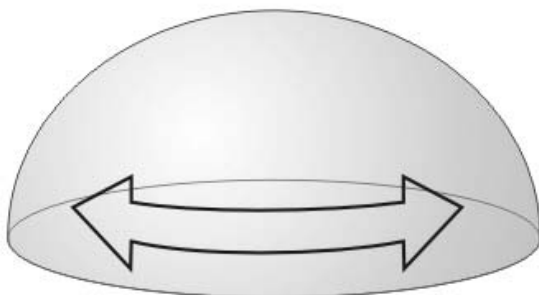
oben projiziert, auf die Flugzeugposition zentriert und nach der Flugrichtung (Heading) ausgerichtet.

Die EGO-View ist eine dreidimensionale Sicht, die der des Piloten aus dem Cockpitfenster entspricht. Er kann die Luftrauminformation also 1:1 umsetzen. In diesem Modus ist die volle Funktionalität der 3-d Darstellung aller Objekte (Areas, Airspaces ...) verfügbar. Gleichzeitig ist sie die Standardansicht während des Fluges.

Zusätzlich soll es jedoch noch eine isometrische Sicht geben. Bei dieser liegt der Viewpoint außerhalb des Flugzeugs und ist beweglich. Es ist also möglich, die Umgebung aus verschiedenen Blickrichtungen zu betrachten.



Die Sichtachse verläuft jedoch immer durch das Flugzeug, dieses bildet also stets den Mittelpunkt des Bildes (diese Forderung ist bei obiger Abbildung nicht erfüllt) . Benötigt wird die ISO-View immer dann, wenn der Pilot Information über Lufträume braucht, die außerhalb des Sichtfeldes der EGO-View liegen, oder wenn für ihn relevante Luftraumteile durch andere verdeckt werden. Bei der Steuerung der Perspektive in der isometrischen Sicht kann man sich auf die Rotation um 2 Achsen beschränken. Die erste entspricht der Lateral-Achse (Z-Achse) des Flugzeugs, umgangssprachlich "von welcher Richtung aus man das Flugzeug anschaut", die zweite entspricht dem umgangssprachlichen 'hoch' oder 'runter' und bewirkt eine steilere bzw. flachere perspektivische Betrachtung. Eine dritte Rotationsachse wird somit überflüssig, da sie das Flugzeug und die Umgebung schräg drehen würde, sodass der Horizont nicht mehr waagrecht stehen würde. Dies ist jedoch nicht erwünscht, zudem es keine zusätzliche Information brächte.



- PROJ** PROJECTION ON Projektion der Flugrichtung unter Beibehaltung eines konstanten Kurs wird angezeigt.
- PROJ** PROJECTION OFF Projektionsgerade wird nicht angezeigt.

Um dem Piloten bei der Kurswahl zu unterstützen, wird eine Gerade projiziert, welche der Flugbahnrichtung unter Beibehaltung des gerade geflogenen Kurses entspricht. Mithilfe

dieses Vektors kann er bereits für entferntere Objekte bestimmen, ob er diese tangiert, passiert oder durchfliegt und ist nicht auf eine Abschätzung angewiesen.

Auch hier ist es ihm wiederum freigestellt, diesen Projektionsvektor zu verbergen, um die Informationsdichte herabzusetzen.

**FPM** FLIGHT PATH MARKER ON Blendet den FPM ein.

**FPM** FLIGHT PATH MARKER OFF Blendet den FPM aus.

Der Flight Path Marker ist das stilisierte Flugzeug genau in der Mitte des Bildschirms. Es repräsentiert den aktuellen Flugvektor bezüglich Flughöhe und Flugrichtung. Neigungsinformation des Flugzeuges sind jedoch in ihm nicht enthalten, er gibt also keinerlei Aufschluss darüber, ob das Flugzeug steigt oder sinkt bzw. ob das Flugzeug mit einem Rollwinkel fliegt oder die Tragflächen horizontal ausgerichtet sind. Dennoch dient er mit den Horizontlinien links und rechts von ihm als Referenzpunkt, wo genau Luftraumgrenzen durchstoßen werden. Auch er lässt sich auf Wunsch de-/aktivieren.

Kommen wir jetzt noch zu den Interaktionstasten:

**MSG** MESSAGES ON Erlaubt dem System, bei Erkennen potentiellen Gefahrensituationen durch einblenden eines Message-Fensters darauf aufmerksam zu machen.

**MSG** MESSAGES OFF Erlaubt keine Messages.

Bei Annäherung/Überschreiten von Luftraumgrenzen oder Über-/Unterschreiten von Höchst-/Mindestflughöhen warnt das System den Piloten und fordert ihn zu einer Reaktion auf. Des weiteren kann er ihn Message-basiert unterstützen, z.B. durch anzeigen der passenden Towerfrequenz bei (beabsichtigtem) Einfliegen in einen Luftraum.

**ALR** ALERT ON Aktiviert den akustischen Alarm bei Erscheinen einer Message

**ALR** ALERT OFF Keine akustischen Signale.

Erscheint eine Message, ertönt zusätzlich ein akustischer Warnton. Da der Pilot jedoch evtl. gerade im Funkkontakt mit jemandem steht, kann er den Alarm deaktivieren.

**ACK** ACKNOWLEDGE Bestätigt die Zurkenntnisnahme einer Message

**CAN** CANCEL Bricht eine Message ohne Quittierung ab.

Erscheint eine Message, so ist der Pilot aufgefordert, die Tatsache, dass er sie gelesen hat, zu bestätigen, worauf die Message verschwindet.

Cancel hingegen bricht sofort ab, das System muss davon ausgehen, dass die Message nicht zur Kenntnis genommen wurde.

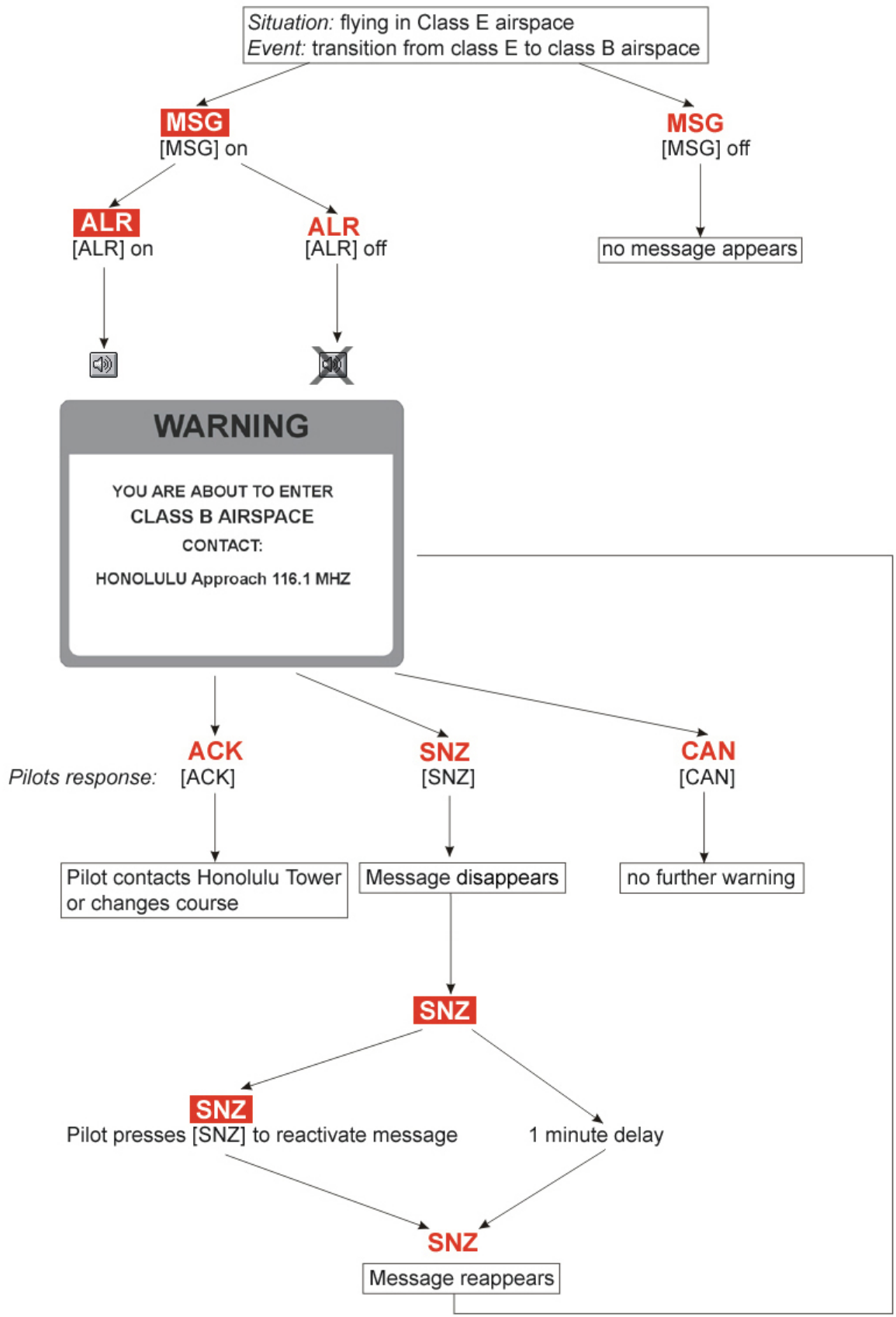
**SNZ** SNOOZE ACTIVE      Status: Eine Message wurde zurückgestellt.  
Aktion: Reaktiviert die zurückgestellte Message

**SNZ** SNOOZE              Status(Default): Keine zurückgestellte Message  
Aktion: Stellt eine Message zurück.

Ist der Pilot gerade beschäftigt oder benötigt er die Sichtinformation des Systems dringender, so kann er eine Message zurückstellen. Diese verschwindet ( [SNZ] wird rot), taucht jedoch nach beispielsweise einer Minute wieder auf. Ist der Benutzer jedoch schon früher bereit, kann er durch erneutes Drücken der [SNZ] Taste die Message sofort reaktivieren. Hat er sie dann acknowledged oder gecanceled, kehrt [SNZ] wieder in den Ausgangszustand ([SNZ] weiß) zurück.

### *5.2. Exemplarisches Flussdiagramm einer Interaktion mit dem Piloten*

Betrachten wir nun eine solche Situation, in der das System einen kritischen Zustand erkennt und den Piloten darauf aufmerksam machen will. Das Flugzeug fliegt im Klasse E Luftraum und nähert sich den Grenzen des Klasse B Luftraums um Honolulu Airport an. In diesem Fall gäbe es, abhängig von den vom Piloten gewählten Einstellungen (bzgl. [MSG] und [ALR]), folgende möglichen Ablaufsequenzen:



## 6. Diskussion von Problemen und Alternativen

Da jetzt die vorgegebenen Ziele mit der Beschreibung des Prototypen prinzipiell umgesetzt sind, möchte ich an dieser Stelle einige Probleme, die während der Entwurfsphase aufgetaucht sind, ansprechen und Lösungsansätze aufzeigen. Des Weiteren möchte ich Alternativen zu einigen Elementen des Prototyps aufzeigen und deren Vor- bzw. Nachteile erläutern. Das Kapitel schließt mit Fragestellungen der konkreten Umsetzung in Hard- und Software.

### 6.1. Bodendarstellung

Bis jetzt haben wir uns bei der Kartendarstellung in den dreidimensionalen Sichten auf eine Projektion der Karte auf den planaren Boden beschränkt. Dies bringt jedoch einige Nachteile mit sich: Alle erdgebundenen Objekte (Airports etc.), die nicht auf Meereshöhe liegen (und das sind so gut wie alle), würden an ihren Ortskoordinaten entsprechend ihrer wahren Höhe über der Karte schweben. Weiterhin würde dem Piloten ein falsches Höhengefühl vermittelt werden, da der dargestellte Boden ja keinerlei topographische Höheninformation enthält. Dies ist insbesondere bei überfliegen von Gegenden mit starken Höhenschwankungen wie z.B. Bergketten ein extrem unerwünschter Effekt. Ich möchte jetzt einige Lösungsansätze beschreiben, welche das Problem, abhängig von ihrer Komplexität und ihrem Implementierungsaufwand, mehr oder weniger gut lösen, in jedem Fall jedoch eine Verbesserung darstellen.

Die erste Möglichkeit besteht darin, die Topologie auch weiterhin zu ignorieren, dem Piloten jedoch Höhen-Layer zur Verfügung zu stellen, die er selbst in ihrer Höhe verändern kann. Somit könnte er sich seine Mindestflughöhen gebietsabhängig selbst festlegen, bei deren Unterschreitung er vom System gewarnt würde (low altitude warning). Dieses Verfahren hätte einen geringen Implementierungsaufwand, würde jedoch sicherheitsrelevante Zusatzinformation gewährleisten.

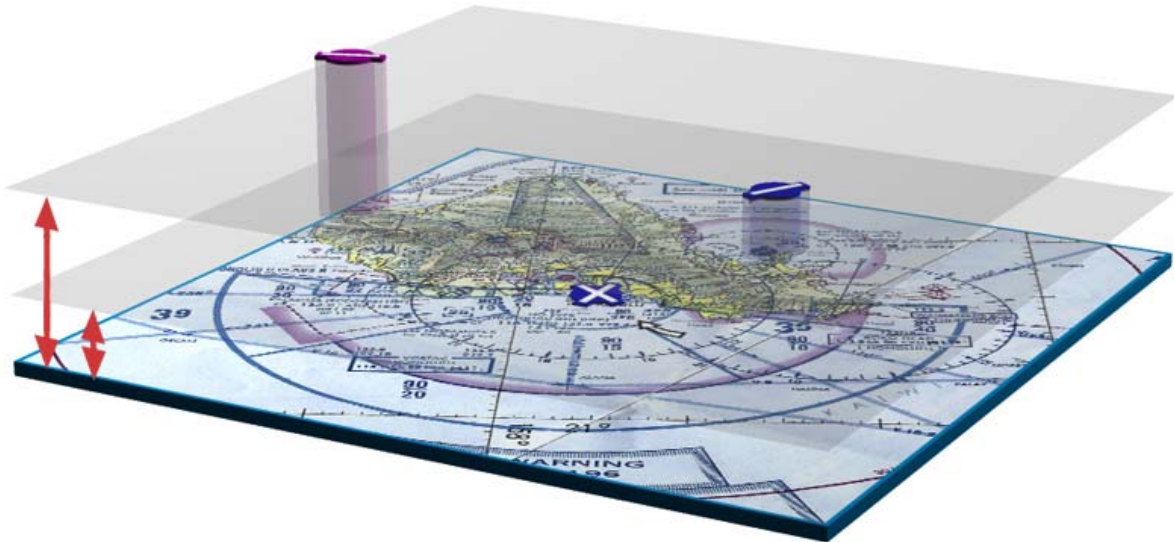


Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Höhenmaxima der Planquadranten der Flight Charts zu verwenden. Diese weißt für jeden 30 x 30 NM Sektor die Maximale Elevation in diesem Gebiet aus. So könnte man eine schachbrettartiges Höhenprofilierung erstellen, welche zwar zugegebenermaßen sehr grob ist und in Regionen mit großen Höhenschwankungen an manchen Stellen zu unverhältnismäßig großer Überschätzung der

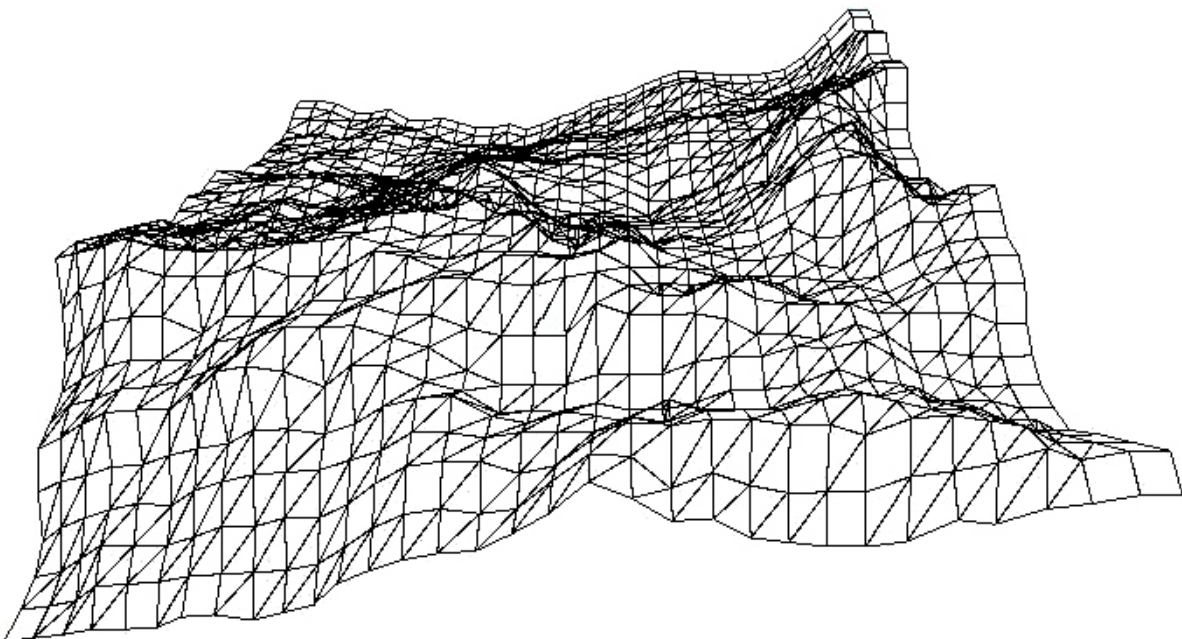
"Mindestflughöhe" führen würde, dennoch wäre eine solche Maxima-Darstellung eine weitere Hilfestellung, gerade bei Schlechtwetter gäbe es somit eine absolut sichere Höhe, in der keine Kollisionsgefahr mit dem Boden bestünde. Die Quadrantenhöhe wäre im Normalbetrieb jedoch eher als Hinweis zu verstehen, keinesfalls sollte bei ihrer Unterschreitung ein Alarm ausgelöst werden, da dies im Normalbetrieb wohl an der Tagesordnung wäre. Denkbar wäre auch eine Kombination dieser Lösung mit der vorherigen.



Beschäftigen sich die beiden vorangegangenen Punkte mit der Mindestflughöhe, so bleibt dennoch das Problem bestehen, auf welcher Höhe die Flugkarte projiziert werden soll. Ein Vorschlag hierzu wäre, die Kartenebene in ihrer Höhe an den dem Flugzeug nächstgelegenen Flughafen anzupassen. Auf diese Weise hätte man lokal wenigstens einen approximativen Höheneindruck. Zudem wäre das Problem der "schwebenden Objekte" weitgehend gelindert, wenn auch nicht vollständig aufgelöst. Zu beachten ist, dass auch in den Flight Charts die Höhe nur an einigen dedizierten Punkten ausgewiesen ist. Bei der Bewertung der Lösungsansätze sind diese also immer dazu in Relation zu setzen, was man sonst an Information gegeben hätte.



Optimal wäre natürlich eine Bodendarstellung, bei der an jedem Punkt die korrekte Höhe wiedergegeben würde. Dies würde jedoch die dafür erforderliche Informationsmenge extrem erhöhen. Obwohl diese Lösung zweifelsohne die beste wäre, ist sie wohl auch wegen des anfallenden Implementierungsaufwands die teuerste. Schließlich stünde man hierbei bereits mit einem Bein in der Welt der komplett synthetischen Sicht, welche die diesem Projekt zugrundeliegenden Ziele bei weitem sprengen würde!



## 6.2. Höhendarstellung

Auch bei der Höhendarstellung gibt es ein Problem, welches bei der bisherigen Betrachtung noch nicht aufgefallen ist, bei der konkreten Umsetzung jedoch sofort klar wird. Die Lufträume wurden bisher zur Verdeutlichung immer als zylindrische Gebilde mit klar unterscheidbaren Höhenebenen dargestellt. Betrachtet man jedoch die Ausmaße genauer, so fällt auf, dass beispielsweise ein Class C Luftraum einen oberen Durchmesser von 20 NM hat,

das sind etwa 37km. Demgegenüber steht jedoch eine Gesamthöhe von nur 4'000 ft, das sind 1,2 km. Im Profil sähe das maßstabsgetreu etwa so aus:

Wie man sieht entspricht dies nicht gerade der plastischen Anschauung der vorangegangenen Kapitel. Deshalb wäre eine sinnvolle Lösung, die gesamte Luftraumdarstellung in z-Richtung zu strecken, um diesen Effekt zu kompensieren. Dies würde dann jedoch auch die unerwünschten Nebeneffekte der Bodendarstellung (Kapitel 6.1) um den gewählten Streckungsfaktor verschärfen!

Ein anderes Problem ist generell die Darstellung der Lufträume. Auch hier gibt es alternativen zur im Prototyp angewandten Methode, sie transparent darzustellen. Ein Drahtgittermodell (Wireframe) wäre eine denkbare Alternative. Ebenso könnte man über eine solide (undurchsichtige) Darstellung nachdenken, oder die Möglichkeit in Betracht ziehen, die einzelnen Sektoren wie in der Karte mit ihren Höhendaten zu "labeln". Jede einzelne dieser Möglichkeiten bietet wiederum Vor- und Nachteile, welche gegeneinander abgewogen werden müssen, letztendlich sollte bei der konkreten Umsetzung jedoch etwas experimentiert werden, um hier den besten Kompromiss empirisch zu finden.

### 6.3. Implementierung

Zuletzt möchte ich noch einige Worte zur Implementierung loswerden. Bei der Hardware haben wir uns bei der Prototypenbeschreibung auf einen MFD-ähnlichen Bildschirm festgelegt. Dieser könnte als Gerät sowohl fest installiert, oder aber auch wie ein Handheldgerät frei beweglich sein, und während des Fluges wie eine Karte oder ein Clipboard beispielsweise am Oberschenkel des Piloten fixiert werden.



Die Flugkarten müssten natürlich digital aufbereitet sein, und entsprechend des Fluggebietes vor dem Start ins System geladen werden. Die Größe einer solchen Karte würde sich demnach nach der Reichweite des Flugzeugs richten, größenordnungsmäßig vielleicht einige 100km im Durchmesser.



Welche Daten werden also nun für die 3dimensionale Aufbereitung benötigt?

- digitalisierte Flight Chart
- exakte Koordinaten der Karteneckpunkte
- magn. Abweichung
- alle Airports mit folgenden Werten:
  - Koordinaten
  - Höhe MSL
  - Frequenzen
  - Airspaces
- alle Airspaces und Areas mit
  - Lage (Koordinaten)
  - Höheninformationen der Einzelnen Segmente und Sektoren, sowie deren exakte Position zum Zentrum  
(Winkel von...bis, innerer/äußerer Radius, Ceiling, Floor)
  - Betriebszeiten
- Lage und Höhenmaximainformation der 30MN Karten-Sektoren
- Höheninformation derer Punkte, die mit Höhenangaben i.d. Karte ausgewiesen sind (z.B. Berggipfel, Türme...)

Abhängig von dem Detaillierungsgrad der Umsetzung (siehe Kapitel 6.1, 6.2) wäre noch eine Anzahl weiterer Informationen notwendig. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass der Aufwand für die obig beschriebene 3-d Aufbearbeitung eine durchaus handhabbare Größe annimmt.

## 7. Schlusswort

Im Rahmen dieses Projekts habe ich versucht, den Leser in die Thematik der Lufträume einzuführen und die damit verbundenen Probleme aufzuzeigen. Nach einem kurzen Anriss der Koppelnavigation wurden die verschiedenen Arbeitsumgebungen (Cockpits) heutiger Piloten hinsichtlich der Informationsaufbearbeitung vorgestellt. Während die Arbeitslast des Fliegens für Linien- und Militärpiloten durch Automatisierung und elektronische Unterstützung stetig reduziert wird, blieb sie bei den "kleinen Fliegern" jedoch relativ konstant. Die Anwendung ist ein Versuch, den Privatpiloten bei der Navigation zu unterstützen und zu entlasten. Obwohl der Ansatz, Höheninformation aus einer Karte in ein echtes 3d-Bild umzusetzen auf den ersten Blick nicht allzu problematisch erscheint, ergaben sich bei der Detailbetrachtung dieses Gesichtspunktes dennoch diverse Schwierigkeiten deren Lösungsansätze z.T. nicht trivial sind. Des weiteren sollte die Zusatzinformation des GPS, die über die reine Positionsbestimmung hinausgeht, also Geschwindigkeit, Höhe und Kurs auch mit in die Darstellung einfließen. Auch hier war aufgrund verschiedener Definitionen von Höhe, Kurs und Geschwindigkeit einige Faktoren zu berücksichtigen. Bei der Bewertung möglicher Lösungen bleibt jedoch immer als Bemessungsmaßstab, um wie viel man sich von der bisherigen Situation verbessert hat, und das zu welchen Kosten. Letztendlich kann diese Entscheidung jedoch nur in der Praxis gefällt werden, sowie auch nur dort die Qualität der verschiedenen alternativen Lösungsansätze abschließend bewertet werden kann. Ich denke dass es mir dennoch gelungen ist, einige Möglichkeiten für die konkrete Umsetzung eines solchen Systems aufzuzeigen, dessen Implementierung in der einen oder anderen Ausprägung lohnenswert scheint.

## 8. Quellenangaben

Airspace Classification, [www.allstar.fiu.edu/aero/airspace.htm](http://www.allstar.fiu.edu/aero/airspace.htm)

Bob Comperini – Airspace Classifications, [www.angelfire.com/la3/comperini/airspace.html](http://www.angelfire.com/la3/comperini/airspace.html)

Flight Simulator 2002 ATC Handbook, Microsoft Corp.

Fly! Flughandbuch, Terminal Reality Inc, 1999

Pro Pilot '99 Handbuch, Sierra On-Line Inc, Chapter 3 – Luftraum und Funkverkehr  
Chapter 4 – Navigation

Reading Aviation Charts for PPG Pilots, Jeff Goin, Feb. 2001  
[www.usppa.org/Resources/reading\\_charts.htm](http://www.usppa.org/Resources/reading_charts.htm)

Rod Machado's Private Pilot Handbook

Sectional Aeronautical Chart – Directory Legend