

Abschlußbericht

BEKLAS

**Erkennbarkeit von
Segelflugzeugen und kleinen
motorisierten Luftfahrzeugen**



FE-Nummer
L - 6 / 2002 – 50.0300 / 2002

Im Auftrag des



**Bundesministerium
für Verkehr, Bau-
und Wohnungswesen**

**Im Auftrag des
Bundesministers für Verkehr,
Bau- und Wohnungswesen**

**Forschungsbericht FE-Nummer
L - 6 / 2002 – 50.0300 / 2002**

Abschlußbericht

BEKLAS
**Erkennbarkeit von
Segelflugzeugen und kleinen
motorisierten Luftfahrzeugen**



**Aktionsgemeinschaft
luft- und raumfahrtorientierter
Unternehmen in Deutschland e.V**

An der Ziegelei 10
53127 Bonn

**Jens Janke
(Projektleitung)
Michael Lang**



**Institut für Flugführung
TU Braunschweig**

Hermann-Blenk-Str. 27
38108 Braunschweig

**Thomas Feuerle
Rolf Hankers
Andreas Ronnenberg**



**Deutsche Akademie
für Flug- und Reisemedizin**

Lufthansabasis, FRA/PM
60546 Frankfurt

**Prof. Dr. med Uwe Stüben
Dr. med. Klaus-Heiko Wassill**

Bonn, Mai 2004

Danksagung

Das Projektteam dankt allen Beteiligten, Behörden und Dienststellen,
die die Erstellung dieser Studie
durch ihre Kooperation ermöglicht und gefördert haben,
sei es durch freiwillige Angaben zu eigenen Erfahrungen
oder durch unbürokratische Zusammenarbeit.

1. Inhaltsverzeichnis

1. INHALTSVERZEICHNIS	4
2. ÜBERSICHT	8
3. EINLEITUNG	9
4. DATENSAMMLUNG UND LITERATURRECHERCHE	12
4.1. Vorbemerkungen zu den Quellen	12
4.2. Auswertung der Quellen	13
4.3. Nutzung des Internets	15
4.4. Beiträge aus anderen Projekten	15
5. UNFALLDATEN	17
5.1. Einführung	17
5.2. Untersuchung der frei zugänglichen Unfallakten	17
5.2.1. Schlechtes Erkennen als Unfallursache	18
5.2.2. Differenzierung der optischen Ursachen	18
5.2.3. Falsche Grundlagen bei der Beurteilung der Erkennbarkeit	20
5.3. Optische Besonderheiten der verschiedenen Luftraumnutzer	21
5.3.1. Sichtbarkeit während des Kreisfluges	22
5.3.2. Besonderheiten der Kontraste beim Fliegen	23
5.3.3. Zusammenfassung der flugmedizinisch - optischen Aspekte	23
5.4. Auswertung der Unfallakten der BFU (1980-2001)	23
5.4.1. Kategorisierung	26
• Sonnenblendung	28
• Schlechte Erkennbarkeit	29
• Eingeschränkte Sicht durch Konstruktion/ Cockpitaufbau	30
• Ablenkung	30
• Kollision trotz Absprache	31
• Mangelnde Erfahrung	31
• Mangelnde Luftraumbeobachtung	32
• Meteorologisch eingeschränkte Sicht	32
• Fehleinschätzung	33
• Lotsen- / Flugleiterfehler	33
• Fehlverhalten	34

6.	MENSCHLICHE LEISTUNGSFÄHIGKEIT	35
6.1.	Die Leistungsfähigkeit des menschlichen Auges	35
6.1.1.	Generelles	35
6.1.2.	Das Auge - Informationsaufnahme	36
6.1.3.	Informationsverarbeitung	39
6.1.4.	Reaktionszeiten des Mensch- / Maschinesystems	40
6.2.	Flugmedizinisch - optische Aspekte	41
6.2.1.	Terminologische Grundlagen	41
	• Sichtbarkeit	41
	• Erkennbarkeit	42
	• Wahrnehmung	42
6.2.2.	Grundlagen des Erkennens	43
6.2.3.	Sehschärfe	43
	• Zusammenfassung Visus / Sehschärfe	44
6.2.4.	Gesichtsfeld	44
6.2.5.	Übergeordnete Einflüsse der Erkennbarkeit	45
	• Kontrast	45
	• Bewegung	46
	• Aufmerksamkeit	47
	• Zusammenfassung zu Kontrast, Bewegung und Aufmerksamkeit	47
7.	TECHNIK UND INSTRUMENTE	48
7.1.	Grundlagen der Technik	48
7.1.1.	Elektronische Hilfsmittel	48
	• Opto-elektronische Systeme	48
	• Radar und Transponder	49
	• Airborne Collision Avoidance System (ACAS)	51
	• Automatic Dependent Surveillance	52
7.1.2.	Technische Maßnahmen zur besseren visuellen Wahrnehmung	54
	• Farbmarkierungen	54
	• Zusammenstoß-Warnlichtanlagen	55
7.2.	Grundlagen der Instrumente	56
7.2.1.	Transponder	56
7.2.2.	Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS)	57
7.2.3.	Marktübersicht Instrumente	60
8.	FLUGBETRIEB	62
8.1.	Erkennbarkeit	62
8.1.1.	Passive Erkennbarkeit	62
8.1.2.	Aktive Erkennbarkeit	63
	• Luftraumstruktur	64
8.1.3.	Ausweichregeln	68
8.1.4.	TCAS/ACAS	69
8.2.	Militärischer Flugbetrieb	70
8.2.1.	Militärischer Flugbetrieb mit dem Waffensystem Tornado	71
8.2.2.	Ausrüstung des Waffensystems Tornado	72

8.3.	Flugsicherung über dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland	72
8.3.1.	Aufgaben und Ausrüstung der zivilen Flugsicherung	72
8.3.2.	Aufgaben und Ausrüstung der militärischen Flugsicherung	73
9.	ERFORSCHUNG VON MAßNAHMEN	75
9.1.	Maßnahmen und Möglichkeiten am Luftfahrzeug	75
9.1.1.	Passive Maßnahmen	76
	• Warnlackierung und Strobelights	76
	• Warnmarkierung durch Folien	77
	• Spiegelfolien auf Ruderflächen	77
	• Radarreflektoren	77
	• Weitwinkelmückspiegel	77
	• Vermeidung sichteinschränkender Konstruktionselemente in Flugzeugcockpits	78
9.1.2.	Aktive Maßnahmen	79
	• Elektro-optische Systeme für Kleinflugzeuge	79
	• TCAS	79
	• Besonderheiten eines Antikollisionssystems bei Segelflugzeugen	80
	• Schweizer Projekte, die sich mit Kollisionsschutzsystemen befassen	80
9.2.	Maßnahmen und Möglichkeiten in der Schulung der Piloten	83
9.2.1.	Verbesserungen des Pilotenverhaltens	83
9.2.2.	Maßnahmen zur Verbesserung der Situational Awareness	84
9.2.3.	Weitere Möglichkeiten zur Kontraststeigerung und zur Erhöhung der Wahrnehmungsfähigkeit	86
	• Vermeidung von Haubenreflexionen	86
	• Allgemeine Dämpfung der Lichtmenge durch Sonnenbrillen	87
	• Blaublocker	87
9.3.	Operative Maßnahmen zur Kollisionsvermeidung	87
9.3.1.	Verbesserungen bei der Flugvorbereitung	88
9.3.2.	Meidung des Luftraumes dicht unterhalb der Basis von Cumulusbewölkung	89
9.3.3.	Vorschläge an die DFS	89
9.3.4.	Operationelle Maßnahmen im Platzrundenverkehr	90
9.4.	Allgemeine Hinweise	90
9.5.	Zusammenfassung der möglichen Maßnahmen	90
10.	ENTSCHEIDUNGSHILFEN FÜR BMVBW	92
10.1.	Einordnung der möglichen Maßnahmen	92
10.2.	Empfehlungen für kurzfristige Maßnahmen	93
10.2.1.	Ausweitung des Human Performance – Unterrichts bei der Pilotenausbildung	93
10.2.2.	Übungsflüge nach JAR FCL	93
10.2.3.	Kennzeichnung durch LED	93
10.3.	Empfehlungen für mittelfristige Maßnahmen	94
10.3.1.	Verbesserte Bereitstellung von NOTAMs	94
10.3.2.	Opto-Elektronische-Kollisionswarnung für die Allgemeine Luftfahrt	94

10.4.	Empfehlungen für langfristige Maßnahmen	95
10.4.1.	Ausstattung mit Mode S – Transpondern	95
10.4.2.	Integration TIS-B, ADS-B und CDTI auf Basis der Mode S – Transponder in die Allgemeine Luftfahrt	95
10.5.	Weitere Maßnahmen	96
10.5.1.	Kennzeichnung durch Warnlackierung und Spiegelfolien	96
10.5.2.	Rückspiegel	96
10.5.3.	Vermeidung konstruktiv bedingter Sichteinschränkungen	96
11.	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	97
12.	LITERATURVERZEICHNIS	99
13.	ABBILDUNGS- UND TABELLENNACHWEIS	103
<hr/>		
ANHANG 1:	UNFALLAUSWERTUNGEN	
<hr/>		
ANHANG 2:	SONNENBLENDEN UND COCKPITSTREBEN	
<hr/>		
ANHANG 3:	AUSZÜGE INTERNATIONALER SICHTFLUG- BZW. AUSWEICHREGELN	
<hr/>		
ANHANG 4:	LITERATURAUSWERTUNG	
<hr/>		

2. Übersicht

Das Projekt „Erkennbarkeit von Segelflugzeugen und kleinen motorisierten Luftfahrzeugen“ (abgekürzt BEKLAS - **B**essere **E**rkennbarkeit **k**leiner **L**uftfahrzeuge **a**ls **S**chutz vor Kollisionen) wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen initiiert. Zielsetzung des Projektes war, die aktuelle Situation in Bezug auf Kollisionschutzmaßnahmen in der Luftfahrt zu analysieren. Aufbauend auf dem Ergebnis dieser Analyse wurden Strategien entworfen, wie das Risiko einer Kollision in der Luft weiter reduziert werden kann.

Um eine geeignete Grundlage für tiefergehende Untersuchungen zu bekommen, wurde in einer umfangreichen Literaturrecherche überprüft, welches Wissen um Kollisionsvermeidung im Luftverkehr bereits verfügbar ist. Dabei wurden entsprechende Artikel in Fachmagazinen, Publikationen (sowohl technischer als auch wissenschaftlicher Art) sowie Projektbeschreibungen aus dem In- und Ausland etc. erfasst und dem Projektteam zugänglich gemacht. Ausgehend von diesen Quellen wurde der aktuelle Wissensstand analysiert.

Ein Schwerpunkt war die Bewertung der menschlichen Leistungsfähigkeit („Human Factors“), insbesondere der Fähigkeiten und Grenzen des menschlichen Auges. Hier wurde zudem der Einfluss der Erwartungshaltung auf die Sehleistung mit betrachtet und neu bewertet. Dieser Aspekt wurde in der Flugmedizin bisher noch nicht ausreichend berücksichtigt.

Zur Abschätzung des Gefährdungspotentials fand eine Auswertung der verfügbaren Flugunfalldaten statt, zum Teil auch im Rückgriff auf Ergebnisse aus anderen Projekten. Als weiterer Punkt wurden die derzeit eingesetzten Instrumente und Verfahren zur Vermeidung von Kollisionen analysiert sowie die Technik, die als Grundlage für die angewendeten Verfahren dient, erklärt. Während der Projektlaufzeit erreichten neue Geräte, insbesondere kleine und leichte Transponder, die Marktreife und wurden angekündigt bzw. eingeführt. Da sie neue Optionen eröffnen, wurden auch diese Geräte bei der Ableitung möglicher Maßnahmen für künftige Kollisionsvermeidungseinrichtungen berücksichtigt.

Abgerundet wurde die Betrachtung des derzeitigen Zustandes durch eine Darstellung der flugbetrieblichen Verfahren, wie sie sowohl im gewerblichen, militärischen als auch privaten Bereich des Luftverkehrs angewendet werden. Hierzu gehört auch die detaillierte Darstellung der Luftraumstruktur mit den entsprechenden Voraussetzungen, die zur Benutzung des jeweiligen Luftraumes notwendig sind.

Aus den Ergebnissen zu den Human Factors, wie zu technischen Einrichtungen konnten mehrere Maßnahmen abgeleitet werden, die die einzelnen Risikofaktoren minimieren. Diese Maßnahmen wurden im letzten Teil der Studie bewertet und eine Auswahl zur Umsetzung vorgeschlagen.

3. Einleitung

Die Bundesrepublik Deutschland liegt im Herzen Europas. Hier kreuzen sich seit jeher die Handelswege in Nord-Süd-Richtung mit denen in Ost-West-Richtung. Was auf den Straßen zu den bekannten Konsequenzen wie überfüllten Autobahnen und kilometerlangen Staus führt, trifft in weiten Teilen auch auf den Luftraum zu: Über das Gebiet der Bundesrepublik führen zahlreiche Luftstraßen, die intensiv genutzt werden.

Mit den Flughäfen München Franz-Josef-Strauß und Frankfurt Rhein-Main besitzt Deutschland bereits zwei internationale Hubs, Berlin Schönefeld soll in einigen Jahren folgen und v.a. unsere östlichen Nachbarstaaten anbinden. Obwohl erst 1993 in Betrieb genommen, wurde der Flughafen in München inzwischen ausgebaut, Frankfurt operiert schon seit Jahren an der oberen Grenze der Kapazität. Auch die anderen Flughäfen in Deutschland konnten in den letzten Jahren steigende Passagierzahlen und damit einen Anstieg der Flugbewegungen verzeichnen. Der Luftraum ist offensichtlich voller geworden, und das, obwohl die Zahl der militärischen Flugbewegungen seit dem Ende des kalten Krieges auf einen Bruchteil abgefallen ist.

Derzeit sind in der Bundesrepublik ca. 20.000 Luftfahrzeuge zugelassen, 95% davon haben eine maximale Abflugmasse unter 5,7t. Für das Jahr 2000 hat das Luftfahrtbundesamt (LBA) in seinem Jahresbericht für diese Klassen von Luftfahrzeugen 1,75 Millionen Flugstunden verzeichnet. Neben den in Deutschland zugelassenen Luftfahrzeugen nutzen natürlich auch Flugzeuge aus anderen Staaten und nicht zulassungspflichtige Flugsportgeräte wie Ultraleichtflugzeuge, Hängegleiter und Fallschirmspringer den Luftraum. Diese Flugbewegungen werden vom LBA nicht erfasst, die hier entstehenden Flugzeiten sind also zu den o.g. Flugstunden hinzuzurechnen.

Der Luftraum ist komplex strukturiert, um die verschiedenen Arten von Luftraumnutzern möglichst zu entflechten. Während sich insbesondere die größeren Flugzeuge mit einem Abfluggewicht von mehr als 5,7t vorwiegend nach Instrumentenflugregeln (IFR) in entsprechenden Höhen über Flugfläche 100 (FL100 = 10.000 ft = 3.092m; bezogen auf NN, also 1013,2 hPa) bewegen, ist doch das Gros der Luftfahrzeuge unterhalb 10.000 ft nach Sichtflugregeln (VFR) unterwegs. Wahre Knotenpunkte sind auch die Flugplätze, zum einen durch ihre An- und Abflugpfade, die natürlich auch durch das Höhenband von 1.000 - 5.000 ft führen, zum anderen, da sich hier kommerzielle und Allgemeine Luftfahrt unmittelbar begegnen und miteinander verflochten werden müssen. Wenn dazu noch die meteorologischen Bedingungen berücksichtigt werden, ist die Vorstellung nicht schwer, wie voll der Luftraum um entsprechende Ballungsgebiete, wie z.B. das Rhein-Main-Gebiet, insbesondere an Tagen mit gutem Flugwetter ist.

Auch die drastische Reduzierung der militärischen Tiefflüge führte nicht zu einer Entlastung des unteren Luftraums. Das frühere Tiefflugstreckennetz mit Flughöhen zwischen 500 - 1.000 ft wurde außer Betrieb gesetzt und die Mindestflughöhe für Militärflugzeuge angehoben, um die Fluglärmbelastung insgesamt zu reduzieren. Mit Ausnahme weniger Tieffluggebiete beträgt die Mindestflughöhe auch für militärische Flugbewegungen

1.000 ft. Damit bewegen sich im ohnehin vollen Luftraum zwischen 1.000 ft und 5.000 ft neben den nach Sichtflugregeln (VFR) operierenden Flugzeugen der Allgemeinen Luftfahrt auch schnelle Kampfflugzeuge, teilweise in umfangreichen Formationen.

Immer wieder kommt es deshalb zu gefährlichen Begegnungen und Unfällen im Luftraum. Im Vergleich zum Straßenverkehr ist die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls zwar verschwindend gering, doch wenn ein Unfall passiert, ist das Risiko schwerer Verletzungen und / oder der Todesfolge ungleich höher. Zudem bewirkt die Häufigkeit von Straßenverkehrsunfällen auch eine gewisse Gewöhnung und da bei einem Unfall meist nur wenige Menschen zu Schaden kommen, ist auch die öffentliche Wahrnehmung eher gering. Leider verursachen gerade Flugunfälle oft hohe Opferzahlen und insbesondere das macht die Tragik dieser Unglücke und das andauernde hohe öffentliche Interesse aus. Da der Himmel tief im Unterbewusstsein mit Assoziationen wie weit und frei verbunden wird, steigert sich die Tragik eines Unfalls noch, wenn zwei Flugzeuge im Flug kollidieren.

Sieht man Unfälle nicht als „Zu“-Fälle an, sondern als Konsequenz aus unsicheren Handlungen, so erkennt man, dass die Anzahl der tödlichen, schweren und leichten Unfälle in einer bestimmten Relation zueinander stehen. Die Auswertung des Projekts EUCARE zeigt, dass auf jeden schweren Flugunfall ca. 20 glimpflich verlaufene leichtere Unfälle geschehen und bestätigt damit das Konzept einer Unfallpyramide.

Während ein Flugunfall ein unverwechselbares und eindeutiges Ereignis ist, kann die genaue Anzahl der gefährlichen Begegnungen jedoch nur abgeschätzt werden. Die Anzahl der gemeldeten gefährlichen Begegnungen ist, wenn man das Verhältnis von schweren zu leichten Flugunfällen zugrunde legt, deutlich zu gering.

Ein Grund hierfür mag der unterschiedliche Erfahrungsstand oder die persönliche Einschätzung der Situation durch die beteiligten Piloten sein: Was der eine bereits als viel zu nah empfindet, ist dem anderen gerade noch weit genug. Ein anderer plausibler Grund ist, dass sich die Piloten einfach nicht gesehen haben: Erst wenn zumindest einer der Beteiligten die Anwesenheit eines anderen bemerkt, kann beurteilt werden, wie nahe sich die Luftfahrzeuge gekommen sind.

Der Luftverkehr basiert auf dem Grundprinzip des „See-and-avoid“, im deutschen oft als „sehen und gesehen werden“ übersetzt. Obwohl es aus den Anfangstagen der Fliegerei stammt, hat dieses Konzept bis heute Gültigkeit. Wie der Name schon besagt, ist es lebenswichtig, anderen Verkehr zu sehen und von anderem Verkehr gesehen zu werden, um Kollisionen vorzubeugen. Kernelement hier ist also die Fähigkeit des Piloten, andere Flugzeuge aufzufassen, Kurs und Geschwindigkeit abzuschätzen und daraus dann die für die Situation richtige Aktion abzuleiten.

Um den Piloten zu unterstützen und das Risiko zu minimieren, wurde schon bald nach technischen Möglichkeiten gesucht, Kollisionen vorzubeugen. Mit jedem Unfall wurde die Flugsicherungstechnik weiterentwickelt und hat letzten Endes zu den heute eingesetzten Radar- und Transpondersystemen geführt.

Das Risiko eines Flugunfalls ist gering, das einer Kollision in der Luft sehr gering, aber es ist vorhanden. Trotz aller heute existenter Technik verbleibt immer ein Restrisiko, können Zusammenstöße in der Luft nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Selbst die

Ausstattung mit Kollisionswarnsystemen bietet keinen hundertprozentigen Schutz, wie der tragische Flugunfall im Juli 2002 am Bodensee zeigt, als eine Boeing 757-200 mit einer Tupolew TU 154 M kollidierte, wobei 71 Menschen den Tod fanden. Beide Maschinen waren mit sog. TCAS–Geräten zum Kollisionsschutz ausgestattet. Dieses Beispiel zeigt, dass es auch bei technisch gut ausgerüsteten Flugzeugen zu Kollisionen kommen kann und dass sich das Problem nicht allein auf „sehen und gesehen werden“ reduzieren lässt.

Die Liste von Flugunfällen, insbesondere auch Kollisionen in der Luft, kann weit fortgeführt werden. Neben den großen, schlagzeilenträchtigen Unglücken gibt es viele nicht minder tragische Unfälle, die sich vor allem im Bereich der Allgemeinen Luftfahrt ereignet haben. Bis vor kurzem war es Standard, dass jeder Unfall in der Luftfahrt umfangreich untersucht wurde, um die Ursachen dafür herauszufinden und mögliche Gegenmaßnahmen ableiten zu können. Da dieses Verfahren langwierig, personalintensiv und damit teuer ist, wurde die Regulierung dahingehend geändert, dass nur noch diejenigen Flugunfälle vollständig analysiert werden, bei denen ein erkennbares Potential zur Verbesserung der Flugsicherheit besteht.

In der Literatur ist also bereits umfangreiches Wissen, gerade auch zum Thema Kollisionen in der Luft, vorhanden. Eine der Zielsetzungen dieses Projekts war, diese Literatur übergreifend zu untersuchen und zusammenzufassen, um sie für die weitere Verwendung im Projekt BEKLAS zur Verfügung zu stellen.

4. Datensammlung und Literaturrecherche

4.1. Vorbemerkungen zu den Quellen

Entsprechend der Eingangs erwähnten Untersuchungen, die in Folge eines Flugunfalls durchgeführt werden, gibt es eine Vielzahl von auswertbaren Quellen.

Die eigentlichen Unfallberichte sind meist Rekonstruktionen der letzten Flugminuten, für die -soweit verfügbar- auch die Aussagen von Überlebenden berücksichtigt werden. Häufigster Fall ist aber der einer forensischen Spurensuche, bei dem bestimmte Fragen nicht mehr endgültig geklärt werden können.

Die Analyse des Flugunfallgeschehens und seiner Ursachen offenbart aber bereits einige offensichtlich grundlegende Bereiche, in denen Fehler schnell katastrophale Folgen nach sich ziehen können. Hiervon ausgehend sind in der Literatur viele tiefergehende Analysen eines einzelnen Aspekts recherchierbar. Auch zu diesen Artikeln finden sich wiederum ergänzende Quellen, bzw. Sekundärliteratur im eigentlichen Sinne.

Zu dieser „unfallnahen“ Literatur kommen Berichte über technische Konzepte und neue Entwicklungen hinzu, die ihrerseits wiederum von weiterführender Literatur beschrieben, diskutiert und analysiert werden. Auch durch Werbung in fachspezifischen Publikationen fanden sich Hinweise auf neue Entwicklungen, die dann gezielt recherchiert und in die Studie BEKLAS eingeordnet werden konnten.

Konkret wurden für die Studie BEKLAS Quellen aus Bibliotheken, aktueller Fachliteratur und dem Internet ausgewertet und den folgenden Bereichen zugeordnet:

- Flugunfallberichte
- Flugunfallanalysen
- Statistiken zu Unfallzahlen
- medizinische Grundlagenpublikationen
- vertiefende Untersuchungen zur „Human Performance“
- vertiefende Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit des menschlichen Auges
- technische Konzepte zur Flugsicherung
- Beschreibungen der aktuellen Kollisionswarnsysteme
- Konzepte für die Zukunft der Flugsicherungssysteme
- Konzepte für neue Anti-Kollisionssysteme
- Erfahrungsberichte von Piloten
- Ergebnisse und Zwischenberichte von verschiedenen Arbeitsgruppen
- Ergebnisse und Zwischenberichte von Projekten mit relevanter Aufgabenstellung

4.2. Auswertung der Quellen

Die Berichte und Analysen zu Flugunfällen haben unterschiedliche Qualität und Umfang, von kurzen, allgemein gehaltenen Informationen ohne weitere Einzelheiten bis hin zu detaillierten Untersuchungen, die weitergehende Rückschlüsse erlaubten.

Gut beschrieben sind die physiologischen Grundlagen des Sehens. Hierzu fanden sich zahlreiche Untersuchungen, von denen die aktuellsten im Rahmen der Literaturrecherche ausgewertet wurden.

Neben Forschungen zum grundsätzlichen Aufbau und der Funktionsweise des Auges wurden in der Literatur auch Abweichungen bzw. Erkrankungen des Auges untersucht. Neben Kurz- / Weitsichtigkeit und Farbenfehlsichtigkeit wurden auch andere Phänomene wie das unbewusste Fokussieren auf eine Entfernung im Nahbereich in einer kontrastlosen Umgebung, wie z.B. beim Flug durch eine Wolke, beschrieben.

Bestimmte Suchroutinen, die sog. „Search-Patterns“, sollen sicherstellen, dass alle relevanten Lufträume, insbesondere vor dem Flugzeug systematisch nach anderen Objekten in der Luft abgesucht werden.

Das Konzept „See-and-avoid“ wird durch die physikalisch bedingte Auflösungsfähigkeit des Auges kritisch betrachtet. Berücksichtigt man die Annäherungsgeschwindigkeiten schneller Flugzeuge, so ist über den Strahlensatz leicht auszurechnen, wie groß ein entgegenkommendes Luftfahrzeug sein muss, damit es rechtzeitig erkannt wird. Insbesondere bei militärischen Flügen im hohen Unterschallbereich stößt das Konzept „Sehen und gesehen werden“ demnach an seine Grenzen.

Ein weiterer großer Teil der vorhandenen Literatur setzt sich mit den unterschiedlichen Sicherungssystemen in der Luftfahrt auseinander.

Die Funktionsweisen von Mode A und C - Transpondern werden ebenso beleuchtet, wie die der neueren Mode S - Transponder. Neben Beschreibung der Überwachungsverfahren

- ADS-B (**A**utomatic **D**ependent **S**urveillance - **B**roadcast) und
- TIS-B (**T**raffic **I**nformation **S**ervices - **B**roadcast),

einschließlich deren technischen Voraussetzungen wird auch

- ACAS (**A**irborne **C**ollision **A**voidance **S**ystem) bzw.
- TCAS (**T**raffic **C**ollision **A**voidance **S**ystem)

erläutert.

Weiterhin setzen sich einige Studien auch mit weiteren Möglichkeiten der Kollisionsvermeidung auseinander, sei es durch Farbauftrag, wie er derzeit von der britischen Royal Air Force angewendet wird, oder durch Anbringen von Beleuchtungskörpern auf Basis superheller LED an Segelflugzeugen, wie dies eine französische und eine hessische Firma vorschlagen. Auch grundsätzliche Überlegungen für einfache und kostengünstige Kollisionswarngeräte und entsprechende Machbarkeitsstudien sind zu finden.

Um den Bereich „Technische Ausstattung zur Kollisionsvermeidung“ abzurunden, wurden auch die Produktbeschreibungen namhafter und neuerer Elektronikunternehmen zu Transpondern ausgewertet.

Hier zeigt sich, dass die beginnende große Serienfertigung von Mode S – Transpondern bereits zu einer deutlichen Preisreduktion geführt hat, so dass diese Geräte inzwischen zu Kosten ab ca. 2.000 € zu erstehen sind.

Allein mit Mode S -Transpondern ist allerdings noch kein Kollisionswarnsystem geschaffen, aber Studien der Firma Marconi GEC von 1999 [1] zeigen, dass ein einfaches Kollisionswarnsystem in der Preisklasse unter 3.000 € entwickelt werden könnte. Dieses quasi „handheld“ System würde nicht im Fluggerät verbleiben, sondern vom Piloten nur zum Flug angebracht werden. Die Leistungen dieses Systems sind bescheiden, da hier nur die Information ausgegeben wird, dass überhaupt irgendwo Flugverkehr in der Nähe ist, ggf. sogar ohne Berücksichtigung eines möglichen Unterschieds der Flughöhe.

Bereits etwas teurer ist die Variante, die auf jeden Fall die Richtung und Entfernung von anderem Luftverkehr ermitteln und ausgeben kann. Aber auch hier ist die Berücksichtigung des Flughöhenunterschieds vom Antwortsignal abhängig.

Die Auswertung der Unfallberichte zeigt, dass die Unfallhäufigkeit zwischen den verschiedenen am Luftverkehr beteiligten Gruppen stark variiert. Die mit Abstand größte Kollisionswahrscheinlichkeit haben Studien aus Frankreich zufolge Segelflugzeuge untereinander. Insbesondere beim Kreisen in Thermikzonen, hier wiederum vor allem beim Ein- und Ausfliegen, ereignen sich die meisten Kollisionen; eine Situation, in der die momentan verfügbaren Kollisionswarngeräte überfordert und daher unbrauchbar sind.

Einen weiteren Unfallschwerpunkt stellt der Einflug in die Platzrunde, bzw. der Platzrundenverkehr dar. Neben Fehlern beim Abarbeiten der entsprechenden Verfahren bis hin zum bewussten, nicht-regelkonformen Verhalten Einzelner ist ein immer wieder genannter Grund, dass mindestens einer der Beteiligten den anderen nicht oder zu spät gesehen hat.

Zur Abrundung der Literaturrecherche wurden auch die organisatorischen bzw. administrativen Rahmenbedingungen untersucht. Um zusätzlich einen Einblick in die Verfahren der militärischen Luftfahrt zu gewinnen, wurde ein Informationsbesuch beim Jagdbombergeschwader 38 „Friesland“ in Jever durchgeführt.

4.3. Nutzung des Internets

Eine weitere Quelle stellte das Internet dar. Hier konnten über die bekannten Suchmaschinen etliche Informationen, insbesondere zu technischen Systemen der Flugsicherung bzw. zu entsprechenden Komponenten gefunden werden. Die Filterung der aufgefundenen Quellen gestaltete sich dabei nicht einfach, da viele Informationen redundant aufgeführt wurden, beispielsweise, wenn ein Schlüsselwort auf mehreren Internetseiten der selben Domain gefunden wurde oder bestimmte Berichte in verschiedenen Bereichen zitiert wurden.

Erwartungsgemäß fanden sich Informationen im Internet zum Teil aktueller als in den gedruckten Medien, jedoch nicht durchgängig, da einige Internetseiten augenscheinlich seit längerem nicht mehr gepflegt wurden. Weiterhin fiel auf, dass die Qualität der Informationen im Internet extrem variierte, von nicht verwertbaren Beiträgen in Newsgroups über mehr oder minder informative Firmenhomepages bis hin zu professionell analysierten Unfallhergängen.

Für das Projekt BEKLAS wurde unter www.beklas.de eine eigene Webseite erstellt, auf der die Ziele des Projekts der interessierten Öffentlichkeit dargestellt wurden. Hier wurden Piloten der Allgemeinen Luftfahrt gebeten, ihre eigenen Erfahrungen hinsichtlich gefährlicher Begegnungen oder gar Kollisionen einzubringen. Insbesondere nach der Präsentation auf der Messe AERO2003 in Friedrichshafen konnte eine recht rege Nutzung dieser Möglichkeit verzeichnet werden.

Die uns bekannt gemachten Fälle wurden für die weitere Verwendung im Projekt anonymisiert um die Vertraulichkeit der Informationen sicherzustellen.

4.4. Beiträge aus anderen Projekten

Das Ergebnis der TAGA-Studie war das „Cockpit Display of Traffic Information“, CDTI, ein Anzeigegerät, auf dem ein Luftlagebild dargestellt werden kann. Entsprechend ihrem Gefährdungspotential sind andere Luftfahrzeuge hier farblich kodiert. Das System ist aber derzeit noch nicht standardisiert und muss weiterentwickelt werden.

In eine ähnliche Richtung geht auch das Projekt „Intelligent Distributed Obstacle & Collision Avoidance“ System, IDOCAS. Dieses schweizer Projekt zielt auf die Schaffung eines Kollisionswarnsystems gegenüber festen und beweglichen Zielen auf Basis von Handytechnologie ab. Die Darstellung des Luftlagebildes soll auf einem PDA bzw. einem fest im Cockpit installierten Anzeigegerät stattfinden. Derzeit wird an diesem Projekt weiter gearbeitet.

Für das 6. EU-Forschungs-Rahmenprogramm, 2. Aufruf Aeronautics, befindet sich das Projekt „Tactical Awareness Collision Avoidance System“, TACAS, in Vorbereitung. Hier soll ebenfalls ein Kollisionswarnsystem auf Transponderbasis entwickelt werden, der Leistungsumfang des angedachten Systems erscheint aber eingeschränkt. Allerdings ist dieser Projektvorschlag noch in einer sehr frühen Stufe, ob dieses Projekt tatsächlich umgesetzt wird, bleibt abzuwarten.

Die Vereinigung „Organisation Scientifique et Technique du Vol à Voile“ (OSTIV) versucht, die sich in Entwicklung befindlichen „Low-Cost-Kollisionswarnsysteme für Segelflugzeuge“ zu koordinieren bzw. zu erreichen, dass alle Systeme zumindest den selben Standard der Datenübertragung benutzen (Stand Februar 2004). Im Rahmen des BEKLAS-Projektes wurde ein direkter Kontakt aufgebaut und an entsprechenden Sitzungen teilgenommen, um die Ergebnisse in eine Empfehlung mit übernehmen zu können.

Ein weiteres interessantes Projekt wurde an der University of Cranfield in Grossbritannien durchgeführt. Bei diesem Projekt wurden Motorsegler mit unterschiedlichen Markierungen (Farb- bzw. Spiegelfolien) ausgerüstet und in Flugversuchen die Auffassungsreichweiten der verschiedenen Konfigurationen ermittelt. Auf die Ergebnisse wird im Kapitel 7.1.2 näher eingegangen. Allerdings muss erwähnt werden, dass nur eine relativ kleine Anzahl an Flügen durchgeführt wurden. Damit kann nicht von einer statistisch zuverlässigen Aussage der Ergebnisse ausgegangen werden. Tendenziell war aber klar zu erkennen, dass zumindest über der überflogenen englischen Landschaft Spiegelfolien gegenüber Farbmarkierungen von Vorteil waren.

Bereits beendet wurde das Projekt EUCARE, ein freiwilliges Meldesystem für besondere Vorkommnisse im Luftverkehr. Da hierbei aus Gründen des Vertrauensschutzes alle Daten nach dem Ende des Projekts gelöscht wurden, konnten nur die anonymisierten Kurzinformationen herangezogen werden. Diese bestätigten die aus anderen Quellen ableitbaren Relationen von schweren zu leichten Unfällen bzw. zu gefährlichen Begegnungen.

5. Unfalldaten

5.1. Einführung

Im Rahmen des Projektes wurden Berichte über Zusammenstöße und gefährliche Begegnungen untersucht. Unter dem Begriff „gefährliche Begegnung“ soll hier eine derartige Annäherung von zwei Luftfahrzeugen verstanden werden, bei der ein Ausweichmanöver erforderlich war oder angemessen gewesen wäre, um einen Zusammenstoß oder eine gefährliche Situation zu vermeiden. Diese Definition entspricht weitgehend der der Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) für eine schwere Störung im Luftverkehr.

Die Untersuchung erfolgte in zwei Stufen. Zum einen wurden bei der BFU die Akten von Zusammenstößen und gefährlichen Begegnungen ausgewertet und die jeweiligen Teilursachen aufgelistet. Zum zweiten wurden 241 deutsche und österreichische Unfallberichte aus der Allgemeinen Luftfahrt, die im Internet zugänglich waren, unter der Fragestellung „Wie viele Unfälle sind bisher durch mangelnde Sichtbarkeit passiert?“ analysiert.

Diese 241 Unfallberichte stellen eine ausreichend große Stichprobe dar um gültige Schlussfolgerungen abzuleiten. Aufgrund der unterschiedlichen Datenbasen (Unfallakten bzw. frei zugängliche Unfallberichte) und mehrerer beitragender Ursachen werden einige Unfälle im Folgenden mehrfach erwähnt.

5.2. Untersuchung der frei zugänglichen Unfallakten

Von den 241 frei zugänglichen Unfallakten gehörten 9 Unfälle zur Kategorie: „Kollision zweier Luftfahrzeuge in der Luft“, 5 davon in die Kategorie: „Segelflugzeuge kollidieren beim gemeinsamen Kreisen“. Dazu kommt das Wissen über 2 Kollisionsunfälle, die evtl. noch nicht publiziert sind. Innerhalb der 241 Unfälle betrafen 2 Unfälle den Bereich: Kollision eines militärischen Strahlflugzeuges mit einem anderen Flugzeug. Im Abschlußbericht der Arbeitsgruppe beim Luftfahrt-Bundesamt (LBA) [2] „Bessere Erkennbarkeit kleiner Luftfahrzeuge“ werden auf der letzten Seite sogar 9 Unfälle zwischen 1980 und 1999 mit Beteiligung militärischer Luftfahrzeuge genannt. Im nächsten Satz des Abschlußberichtes heißt es: „In der beiliegenden Statistik werden 100 Unfälle aufgeführt, unter denen allein 57 zwischen Segelflugzeugen untereinander stattfanden.“ [2]

Nach einer statistischen Hochrechnung der DERA, Farnborough, GB, wird das Risiko einer zufälligen mid-air Kollision zwischen einem schnellen Jetflugzeug und einem Flugzeug der Allgemeinen Luftfahrt mit 0,169 / Jahr oder 0,005/ 10.000 Flugstunden in der Allgemeinen Luftfahrt eingeschätzt. Das gleiche Risiko einer mid-air Kollision zwischen zwei Flugzeugen der Allgemeinen Luftfahrt wird auf ca. 0,095 / Jahr oder 0,003 / 10.000 Flugstunden geschätzt [3].

5.2.1. Schlechtes Erkennen als Unfallursache

Die Sichtbarkeit als alleinige Ursache von Flugunfällen spielt in den öffentlich zugänglichen Berichten nur eine untergeordnete Rolle, d.h. in weniger als 5 % der untersuchten Unfallberichte.

5.2.2. Differenzierung der optischen Ursachen

Die Untersuchung der Unfallberichte brachte zusätzlich die Erkenntnis, dass nur in sehr seltenen Fällen eine einzige Ursache einen Unfall ausgelöst hat. In der überwiegenden Anzahl der Unfälle spielen mehrere Ursachen eine Rolle. Man unterzieht den Unfall und seine Ursachen zunächst einer groben, dann einer feinen Filterung. Diese Filter können z. B. mit dem Ort des Wahrnehmungsdefizits identisch sein. Selbst innerhalb eines Teilgebietes der Wahrnehmung empfiehlt es sich, die Ursachenforschung soweit wie möglich zu differenzieren. Aus den verschiedenen Ursachen ergeben sich dann zwangsläufig diejenigen Mittel und Empfehlungen, welche die Wahrscheinlichkeit eines Zusammenstoßes reduzieren sollen.

Die folgenden Beispiele sollen dies verdeutlichen:

Wo lag das Wahrnehmungsdefizit?

- **Vor dem Auge?**

Beispiel:

Eine Antonow An2 mit Fallschirmspringern rollt in eine wartende Katana [4]. Der Propeller der Antonow zerstört das Heck der Katana und kommt kurz vor der Schulter des Kopiloten zum Stehen.

Wahrscheinliche Aussage des Antonow Piloten: „ Die Katana habe ich nicht gesehen!“

Tatsächliche Aussage eines anderen Antonow-Piloten¹: „Man kann aus einer Antonow 2 am Boden kaum etwas sehen.“

- **Im Auge?**

Beispiel:

Mangels eindeutiger Berichte wird folgende Situation konstruiert: Ein weißes Segelflugzeug fliegt vor einer weißen Wolke und kann mangels Kontrast - Differenzierung nicht bzw. nicht rechtzeitig erkannt werden.

¹ Diskussionsbeitrag während der Tagung der Österreichischen Fliegerärzte 11/02 in Zürs / Lech.

- **In weiterverarbeitenden Gehirnzentren?**

Beispiele:

1. Motorausfall wegen Spritmangel, d.h. Tankschalter war im Cockpit zwar gut sichtbar aber dennoch falsch gesetzt.
2. Der Gasgriff (gut im Cockpit sichtbar) rutscht beim Start Richtung Leerlauf, der Pilot erkennt dies aber nicht rechtzeitig, das Fallschirmabsetzflugzeug stürzt nach dem Start ab.

Die wiederholte Durchsicht der 241 Unfallberichte ergab, dass in die Gruppe der Ursachen „Vor dem Auge“ 7 Unfälle einzuordnen sind, zur Gruppe „Im Auge“ gehören 14 Unfälle (z.B. mit den Ursachen: mögliche Blendung nach Hangüberquerung; wegen möglicher Blendung in Hang geflogen; mehrere Hubschrauber, die in Hochspannungsleitungen eingeflogen sind; die Kollision einer Grob G-109 mit einem Modellflugzeug wegen möglicher Blendung; Einflug einer Wilga in ein Windenseil; mehrere Kollisionen zwischen schnellen Jets und langsamen Flugzeugen). Kriterium zu dieser Zuordnung waren z.B. die Kollisionen mit Hochspannungsleitungen, da die Größe des Kollisionsobjektes mit der Auflösungsfähigkeit in Zusammenhang steht.

Zur Gruppe „hinter dem Auge“ gehören 4 Unfälle:

Beispiele:

- ein Airbus rollt in eine wartende Boeing;
- der Pilot einer Cessna 441 verwechselt Rollweg mit Landebahn;
- in einer Bidschka wird die falsche Stellung des Zündschalters nicht wahrgenommen;
- ein rutschender Gasgriff wird nicht wahrgenommen.

Die eindeutige Einteilung der Unfälle ist auf Grund vieler beitragender Ursachen schwierig. Die Ursache „Einflug in schlechtes Wetter“ war in der letzten Gruppierung ausgeklammert.

Alternativ können die untersuchten Unfälle auch in folgende Kategorien eingeteilt werden:

1. Könnten optische Ursachen eine Rolle gespielt haben?
2. Ist die schlechte Sichtbarkeit als Mitursache anzunehmen?
3. Ist die schlechte Sichtbarkeit als Hauptursache anzusehen?

Bei Bejahung der Punkte 2. und 3. folgt dann die Frage:

4. Hätte eine bessere Sichtbarkeit den Unfall verhindern können?

In 8 von 43 österreichischen Unfallberichte wurden optische Ursachen angedeutet, in 14 wurde eine optische Ursache für möglich gehalten. Eine juristisch eindeutige Kausalität, ob eine bessere Sichtbarkeit den Unfall verhindert hätte, ist in keinem der Unfallberichte zu finden.

5.2.3. Falsche Grundlagen bei der Beurteilung der Erkennbarkeit

Die Durchsicht der Unfallberichte brachte teilweise deutliche Informationsdefizite zu Tage. Bei der Beurteilung der Sichtbarkeit von Luftfahrzeugen wird dabei häufig von falschen Grundlagen ausgegangen.

- **Erste Falschthese:**
Ein Luftfahrzeug mit einer großen Spannweite ist besser sichtbar als ein Flugzeug mit einer kleinen Spannweite.

Diese falsche Annahme zieht sich wie ein roter Faden durch eine französische Ursachenzusammenfassung und mehrere deutsche, einige österreichische, auch ein amerikanisches Gutachten, bei dem es um die Kollision zweier Regierungsmaschinen ging².

Begründung:

Wenn man die Drei-Seiten-Ansichten eines Flugzeuges im Prospekt betrachtet, dann fällt auf, dass beim Anblick eines Flugzeuges von der Seite die Spannweite der Tragflächen nahezu unsichtbar ist.

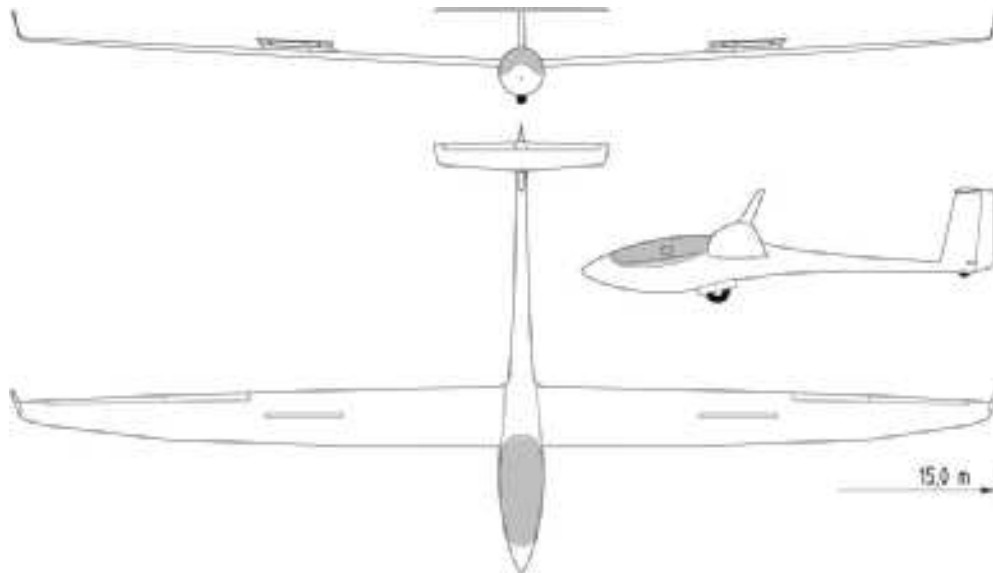


Abb. 1: Drei-Seiten-Ansicht einer ASW 28 [<http://www.alexander-schleicher.de>]

Beim Anblick eines Flugzeuges von vorn imponiert zwar die Spannweite, jedoch ist es hier die Flächendicke, die den limitierenden Faktor der Sichtbarkeit der Tragfläche darstellt. Die dünnste Tragfläche, die je an einem Segelflugzeug realisiert wurde, liegt bei 6 cm Dicke. Ob diese Tragfläche 15 oder 25 Meter Spann-

² Allerdings ist hier anzumerken, dass aufgrund der hohen Relativgeschwindigkeit der beiden Luftfahrzeuge auch bei korrekter Abhandlung der Sichtbarkeit bzw. Erkennbarkeit der schicksalhafte Verlauf des Unfalles nicht zu ändern gewesen wäre.

weite hat, entscheidet nicht über die Sichtbarkeit beim Anblick von vorn. Beim Anblick von vorn ist es der Durchmesser und die Höhe des Rumpfes, welcher die Sichtbarkeit bestimmt.

Beim Anblick des Flugzeuges von oben oder von unten bestimmt die Flächentiefe die Sichtbarkeit. Die Flächentiefe ist der Abstand von der Vorderkante zur Hinterkante. Auch bei dieser Ansicht sagt die Spannweite nichts über die Sichtbarkeit eines Flugzeuges aus, denn eine kurze und sehr tiefe Tragfläche ist immer besser sichtbar, als eine Tragfläche von z.B. 25,6 m Spannweite mit einer geringeren Flächentiefe.

Wenn man als Beobachter die Spannweite eines Flugzeuges erkannt hat, dann ist es nicht das erste Bauteil, was man von diesem Flugzeug gesehen hat, es sei denn, die Sonne hat sich auf den konvexen Tragflächen gespiegelt, und so einen überschwelligenden Reiz auf der Netzhaut der Beobachters produziert.

Wenn man die drei möglichen Ansichten eines Flugzeuges auf die Wahrscheinlichkeit eines Zusammenstoßes analysiert, dann fallen die Ansichten von unten oder von oben weg, weil dies keine Kollisionskurse sind. Die Ansicht von der Seite wird in den Kollisionsgutachten selten genannt. Es überwiegen bei weitem die spitzwinkligen Kollisionen. So ist die Ansicht von vorn oder von hinten als potentieller Kollisionskurs am gefährlichsten. Konstruktionsbedingt ist er aber auch mit der schlechtesten Sichtbarkeit verbunden, weil die Konstrukteure den Stirnwiderstand klein halten, denn dieser geht in die Widerstandsberechnung mit dem Quadrat seiner Fläche ein.

- **Zweite Falschthese:**
Für die Erkennbarkeit eines Flugobjektes wird eine Sehschärfe von 1,0 (= 100 %) angenommen.

Begründung:

Die Sehschärfe differiert für verschiedene Objektstrukturen. Die Begründung wird weiter unten im Kapitel 6.2.3 Sehschärfe gegeben. Eine Sehschärfe von 1,0 entsprechend einem Auflösungsvermögen von 1 Winkelminute, dies ist aber nur für Differenzierungsaufgaben zulässig.

5.3. Optische Besonderheiten der verschiedenen Luftraumnutzer

Die Kollisionsgefahr steigt mit der schlechten Erkennbarkeit und mit der Anzahl der Teilnehmer. Derzeit sind 1.182 Luftfahrzeuge der Klassen A, B, C, F und G in Deutschland zugelassen, von denen die Mehrzahl vermutlich im Ausland oder im kontrollierten Luftraum unterwegs ist. 1.347 Ballone und 6 Luftschiffe scheiden aus optischen Gründen als Kollisionsgegner aus. Die Anzahl der einmotorigen Luftfahrzeuge mit E-Zulassung liegt bei 6.605 [Zulassungszahlen Stand: Februar 2004, Quelle LBA]. Weiterhin sind 2.535 Luftfahrzeuge als Motorsegler (K-Klasse) zum Verkehr zugelassen.

Die höchste Kollisionsgefahr geht von den Segelfliegern aus: Im Februar 2004 waren in Deutschland 7687 Segelflugzeuge zugelassen, davon ca. 4.000 Einsitzer vom Typ ASW15, Cirrus und Libelle inkl. der neueren Muster mit teilweise noch schmalere Rumpfen. In dieselbe Hindernisklasse gehören zusätzlich ca. 880 einsitzige Segelflugzeuge mit Klapptriebwerk und ca. 1.000 Doppelsitzer vom Typ Twin Astir, DG 500, ASK21, ASH 25 etc. Außerdem sind ca. 250 doppelsitzige Segelflugzeuge mit Klapptriebwerk zugelassen. In der Summe sind also mehr als 6.000 dieser optisch schwer zu erkennenden Luftfahrzeuge alleine in Deutschland zugelassen. Die restlichen Segelflugzeuge besitzen aufgrund ihrer älteren Bauweise (meist aus Holz oder einer gemischten Holz-Stahlrohr-Konstruktion) eine größere Stirnfläche und ein dickeres Profil und sind somit besser zu erkennen.

Die Sichtbarkeit von vorn oder von hinten ist abhängig von der Rumpfbreite und von der Rumpfhöhe. Eine Auszählung der greifbaren Rumpfbreiten [5] brachte bei sechs typischen Einsitzern (ASW15: 0,61 m, LS1: 63 cm, Cirrus 62 cm, Astir CS: 64 cm, DG100: 62 cm) eine durchschnittliche Breite von 62,4 cm. Die Doppelsitzer haben eine durchschnittliche Rumpfbreite von 71 cm (DG 1000: 73 cm, ASK 21 68 cm, Twin Astir 72 cm, Duo Discus 72 cm).

Nach dem Strahlensatz ist ein Einsitzer von vorn oder hinten somit erst bei weniger als 87 % derjenigen Entfernung zu erkennen, die für das Erkennen eines Doppelsitzers ausreichen würde.

5.3.1. Sichtbarkeit während des Kreisfluges

Wegen der hohen Anzahl der Segelflugzeuge sei auf die spezifischen Eigenheiten ihrer Sichtbarkeit hingewiesen. Ein großer Teil eines Fluges wird mit Kreisen verbracht, wobei die Größe des Kreisfluganteiles von verschiedenen Faktoren (Leistungsstand des Piloten und/oder des Flugzeuges, Wettbewerbs- oder Ausbildungsflug etc.) abhängig ist. Dabei dauert eine Kreisbewegung ca. 20 - 30 Sekunden (bei einer Querneigung von 20 - 30° und einer Fluggeschwindigkeit von 80-100 km/h). Die Perspektive ändert sich nicht nur mit der Entfernung, sondern auch bedingt durch den Kreisflug. Sie wechselt sich von vorn, von unten, von hinten und von oben ab.

Die beste Sichtbarkeit liegt dann vor, wenn das Seitenruder mit dem Rumpf oder, bei entsprechenden Schräglagen, die Flächentiefe einfallendes Sonnenlicht reflektieren kann und als große Fläche imponiert. Leider kommt diese Ansicht aber beim stationären Kreisflug kaum vor. Bedingt durch eine Kreiszeit von ca. 20-30 Sekunden bleiben pro Perspektive weniger als 5 Sekunden. Wenn bei einer durchschnittlichen Rumpfbreite von 62,4 cm die Entfernung mehr als 3,2 km beträgt, dann ist bei einer Punktsehschärfe von 1,5 der Rumpf nicht mehr erkennbar, sondern nur noch die Flächentiefe (Die durchschnittliche Flächentiefe an der Wurzel bei 9 verschiedenen Kunststoff-Einsitzern beträgt 92 cm). Bei weiter zunehmender Entfernung, d.h. mehr als 4,7 km verschwindet auch die Flächentiefe. Dann kann evtl. nur noch das Aufblitzen der Tragflächen in der Sonne als überschwelliger Reiz wahrgenommen werden (ähnlich einer Spinnweb, die sich nur an ihrer Reflexion zu erkennen gibt, ansonsten unsichtbar zu sein scheint). Diese Reflexionen sind jedoch im Schatten und unter einer Wolke nicht vorhanden.

5.3.2. Besonderheiten der Kontraste beim Fliegen

Im Flachland ist es im Regelfall so, dass sich ein Luftraumbenutzer relativ zum anderen unter dem Horizont befindet, der andere befindet sich darüber. Auf Grund des Kontrastes ist die Sichtbarkeit des Teilnehmers über dem Horizont besser. Die Chancen, vom anderen gesehen zu werden, steigen zunächst mit der relativen Höhe über dem Horizont, um dann wieder abzufallen, denn im Zenit sucht man selten nach Hindernissen. Zum Zeitpunkt einer Kollision befinden sich beide Flieger aber in gleicher Höhe, somit relativ zueinander immer in der Nähe des Horizontes. Diese Umgebung ist häufig mit sehr starken Kontrasten verbunden. Beim Wunsch nach einer besseren optischen Erkennbarkeit, muss man zwangsläufig mit noch stärkeren Kontrasten arbeiten.

5.3.3. Zusammenfassung der flugmedizinisch - optischen Aspekte

Die retrospektive Begutachtung der Sichtbarkeiten und ihres zeitlichen Verlaufs nach einem Kollisionsunfall ist in jedem Fall mit Unsicherheiten behaftet. Auch wenn man eine bessere oder schlechtere Sehschärfe als die tatsächlich vorhandene annimmt, bleibt trotzdem die Sichtbarkeit als Unfallfaktor bestehen. Daraus resultiert nicht nur der Wunsch zur Verbesserung der Sichtbarkeit, sondern evtl. auch ein Organisationsverschulden, wenn einfache Mittel zur Wahrnehmungsförderung nicht genutzt werden.

1. Die Sichtbarkeit von Flugzeugen im Luftraum ist überwiegend schlecht.
2. Von allen Sichtbarkeiten von Flugzeugen ist diejenige am schlechtesten, die sich auf einem direkten, frontalen Kollisionskurs ergibt.
3. Die sogenannte Sehschärfe, die beim Augenarzt gemessen wird, hat nur entfernt etwas mit derjenigen Leistung des Auges zu tun, die man für die Erkennung eines Luftfahrthindernisses braucht.
4. Die Erwartungshaltung ist derjenige Faktor, der die Wahrnehmbarkeit wesentlich verbessern kann.

5.4. Auswertung der Unfallakten der BFU (1980-2001)

Im untersuchten Zeitraum hat es im deutschen Luftraum bzw. mit Beteiligung in Deutschland registrierter Luftfahrzeuge 226 bekannt gewordene Zusammenstöße bzw. gefährliche Begegnungen gegeben. Schwere Störungen im Luftverkehr, und darin eingeschlossen gefährliche Begegnungen, werden erst seit 1998 systematisch erfasst, eine zusätzliche hohe Anzahl nicht gemeldeter Vorfälle ist anzunehmen.

Abbildung 2 zeigt eine grobe Verteilung der Zusammenstöße und gefährlichen Begegnungen auf die Flugphasen. Dabei sind 50 Vorfälle während des Reisefluges geschehen, 31 im Platzverkehr. Bei 107 Fällen waren beide beteiligten Luftfahrzeuge im Thermik- oder Hangsegelflug, 29 fanden am Boden statt. 9 Vorfälle ließen sich nicht in eine dieser Flugphasen einteilen bzw. fanden ausschließlich unter Beteiligung von IFR-Flugverkehr statt.

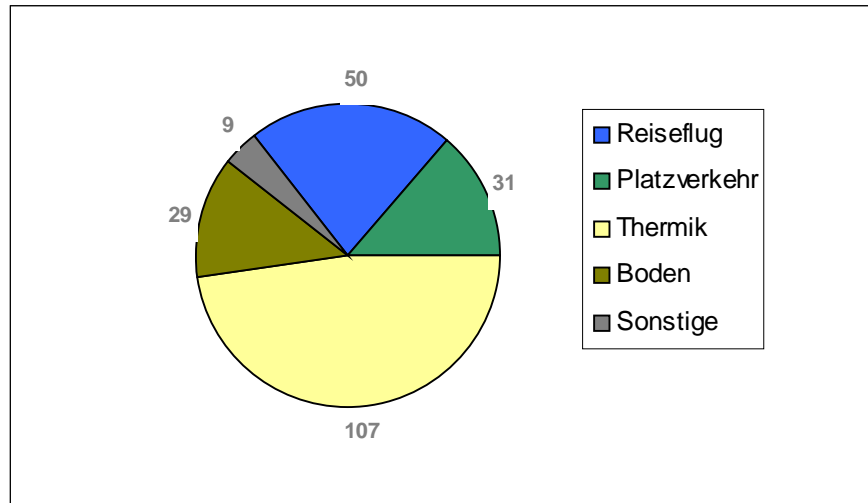


Abb. 2: Verteilung der Zusammenstöße und gefährlichen Begegnungen 1980 - 2002

An 14 Zusammenstößen und 5 gefährlichen Begegnungen waren militärische Flugzeuge beteiligt.

Einen Vergleich mit der jeweiligen Gesamtzahl der Unfälle und schweren Störungen in den Jahren 1980 bis 2002 zeigt Abb. 3.

Während die Gesamtzahl der Unfälle und schweren Störungen pro Jahr zwischen knapp 400 und gut 500 liegt, schwankt die jährliche Anzahl der Zusammenstöße und gefährlichen Begegnungen zwischen 6 und 18.

Die genaue Anzahl der Zusammenstöße und gefährliche Begegnungen lässt sich aus Abb. 4 ersehen, wobei zu beachten ist, dass gefährliche Begegnungen im zivilen Luftverkehr erst seit 1998 gemeldet werden. Im militärischen Luftverkehr gilt diese Einschränkung nicht, die in Abb. 4 vor 1998 aufgeführten gefährliche Begegnungen sind ausschließlich mit militärischer Beteiligung.

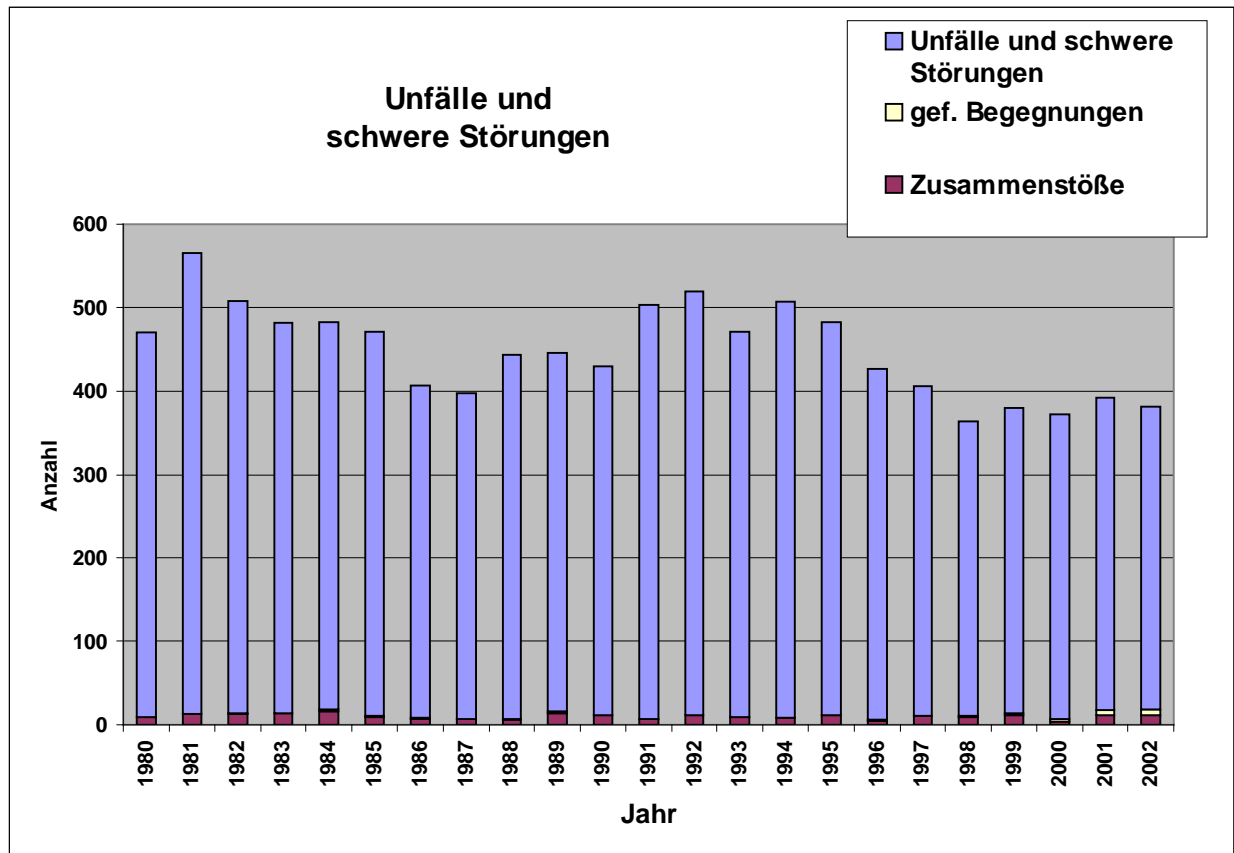


Abb. 3: Unfälle und schweren Störungen 1980 – 2002, anteilig Zusammenstöße und gefährliche Begegnungen

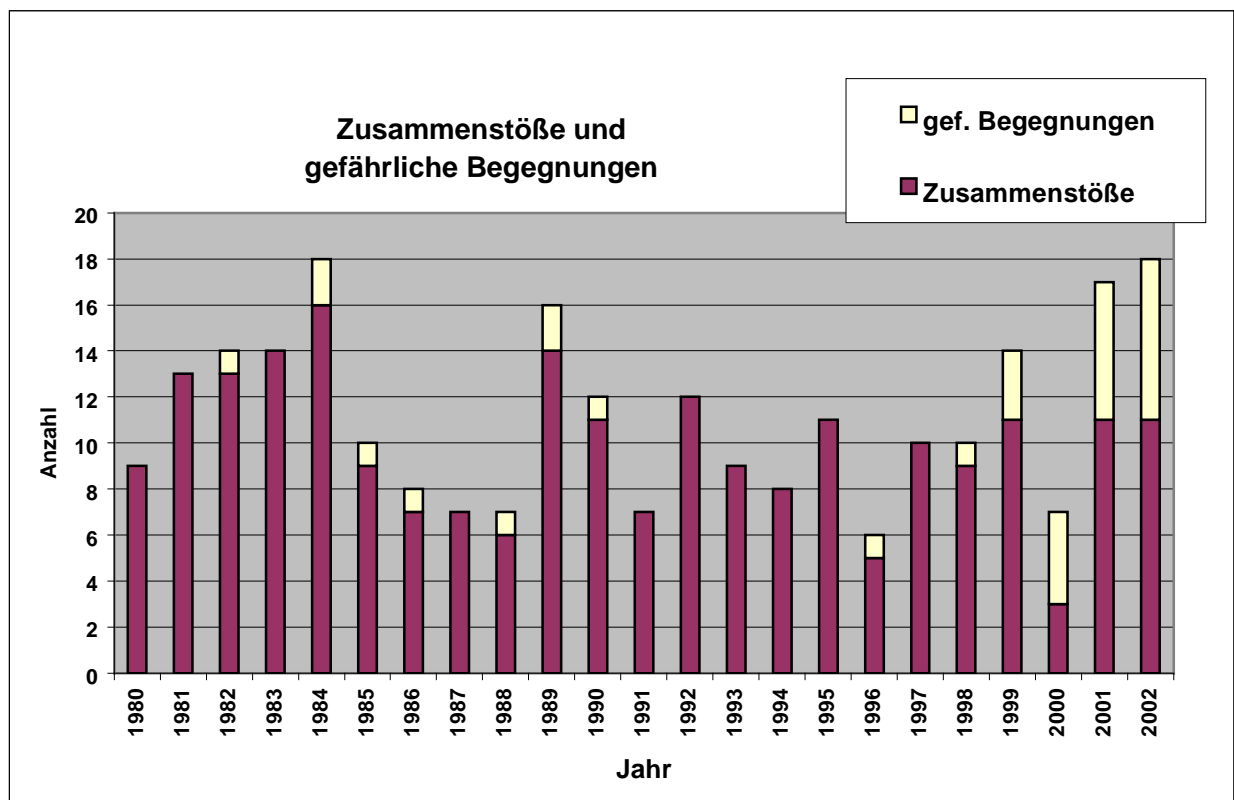


Abb. 4: Anzahl der Zusammenstöße und gefährlichen Begegnungen zwischen 1980 und 2002

5.4.1. Kategorisierung

Im Rahmen dieser Untersuchung sollen die Zusammenstöße und gefährliche Begegnungen zwischen 1980 und 2001 näher betrachtet werden. Anhand der aus diesem Zeitraum zur Verfügung stehenden Untersuchungsberichte sollen, soweit ersichtlich, die näheren Umstände und Ursachen der einzelnen Vorkommnisse grob kategorisiert werden.

Es sollen hier nur Vorfälle während des Reisefluges und im Platzverkehr untersucht werden. Während des gemeinsamen Fliegens in thermischen oder anderen Aufwinden ist den Piloten die Nähe anderer Luftfahrzeuge bewusst, so dass Unfälle mit ausschließlicher Beteiligung von Thermik- oder Hangflügen für die hier untersuchte Erkennbarkeit von kleinen Luftfahrzeugen von untergeordneter Bedeutung sind. Ebenso sollen Zusammenstöße am Boden oder mit ausschließlicher Beteiligung von IFR-Verkehr hier nicht näher betrachtet werden.

Von den somit 81 zu untersuchenden Fällen, von denen 50 im Reiseflug und 31 im Platzverkehr vorfielen (siehe Abb. 2) waren 53 Untersuchungsberichte im Archiv der BFU vorhanden. Die restlichen Unfallakten waren während des Zeitraums der Untersuchung nicht verfügbar oder wurden, nach Ablauf der Einlagerungspflicht von 20 Jahren bei Unfällen ohne Personenschaden, bereits vernichtet.

Seit einigen Jahren werden von der Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) nur noch Unfälle näher untersucht, wenn das Ergebnis der Voruntersuchung eine Verbesserung der Sicherheit im Luftverkehr erwarten lässt. Deshalb ist bei vielen Berichten nur der Ablauf soweit wie möglich rekonstruiert, nicht jedoch die wahrscheinliche Ursache ermittelt worden.

Soweit vorhanden wurden neben den offiziellen Abschlußberichten auch die Aussagen der Beteiligten oder von Zeugen durchgesehen, um mögliche Teilursachen zu erfassen. Zusätzlich wurden die in der jeweiligen Voruntersuchung aufgenommenen Daten über Erfahrung und Ausbildungsstand der beteiligten Luftfahrzeugführer erfasst, sowie der konstruktive Aufbau (z.B. Hochdecker oder Tiefdecker) und die Farbe der beteiligten Luftfahrzeuge. Bei Erfahrung und Ausbildungsstand ergaben sich keine Auffälligkeiten hinsichtlich der Häufigkeit. Die Farbe der an Kollisionen beteiligten Luftfahrzeuge ist zwar häufig Weiß bzw. eine Farbkombination mit Weiß, da jedoch auch der prozentuale Anteil von Luftfahrzeugen mit der Grundfarbe Weiß in der Menge aller Luftfahrzeuge sehr hoch ist, kann hier kein ursächlicher Zusammenhang zwischen der Farbgebung und der Unfallhäufigkeit hergestellt werden.

Bei den meisten Unfällen tragen grundsätzlich mehrere Teilursachen zum Geschehen bei. Bei Kollisionen sind zum einen jeweils mindestens zwei Luftfahrzeugführer beteiligt, zum anderen sind auch bei den einzelnen Beteiligten meistens mehrere Teilursachen für den Ablauf auszumachen. In der folgenden Einteilung werden einzelne Vorfälle deshalb in mehreren Kategorien gezählt.

Abb. 5 zeigt die Verteilung auf die verschiedenen Teilursachen für Zusammenstöße und gefährliche Begegnungen. Dabei wird zusätzlich zwischen Vorfällen mit und ohne militärischer Beteiligung unterschieden.

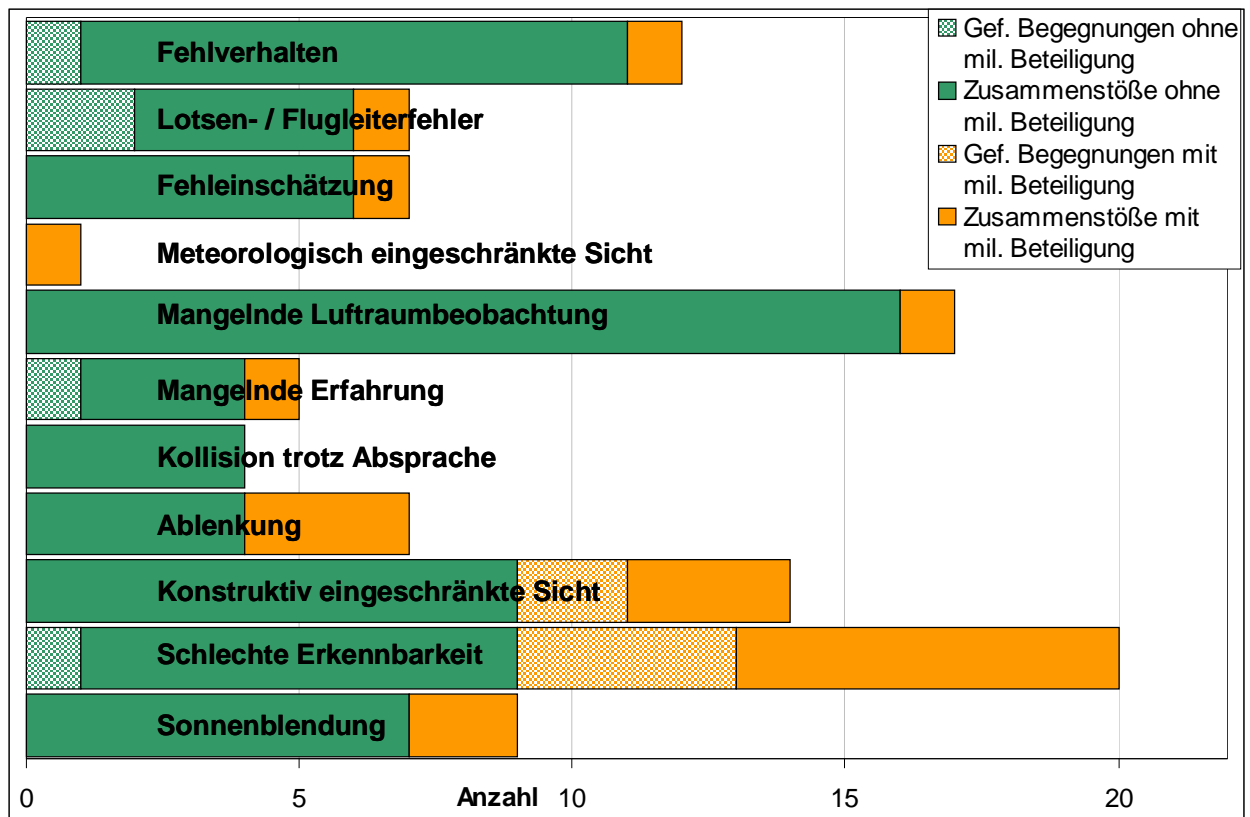


Abb. 5: Verteilung auf Ursachenkategorien für Zusammenstöße und gefährliche Begegnungen

Eine Bewertung des jeweiligen Unfallgeschehens bzw. des Ablaufs einer gefährlichen Begegnung ist grundsätzlich schwierig ; Aussagen über eine eventuelle Vermeidbarkeit sind kaum zu treffen. Es soll hier jedoch kurz auf die für diese Untersuchung relevanten Teilursachen eingegangen werden.

Bei den Vorfällen mit militärischer Beteiligung ist häufig schlechte Erkennbarkeit als Teilursache auszumachen. Durch die sehr hohe Annäherungsgeschwindigkeit von militärischen Strahlflugzeugen ist für das Ausweichen eine entsprechend große Entfernung notwendig, die oft so groß ist, dass ein rechtzeitiges Erkennen kaum möglich ist.

Bei den Teilursachen

- Mangelnde Luftraumbeobachtung,
- Fehlverhalten, sowie
- Kollision trotz Absprache

kann auf mangelndes Situationsbewusstsein bei dem betroffenen Luftfahrzeugführer geschlossen werden.

Bei den Zusammenstößen und gefährlichen Begegnungen, bei denen die Teilursachen

- Schlechte Erkennbarkeit,
- Sonnenblendung,
- Konstruktiv eingeschränkte Sicht,
- Meteorologisch eingeschränkte Sicht,
- Mangelnde Luftraumbeobachtung und
- Ablenkung

zum Geschehen beigetragen haben, erscheint eine aktive Unterstützung für die Erkennbarkeit hilfreich.

Im folgenden sollen die einzelnen Teilursachen kurz beschrieben werden. Dazu sind die in die jeweilige Kategorie eingeordneten Vorfälle mit einem Aktenzeichen (zusammengesetzt aus einer Unfallnummer mit angehängter Jahresangabe) sowie einer Kurzbeschreibung angegeben. Den in den Kurzbeschreibungen genannten Luftfahrzeugtypen wird nach folgendem Schlüssel die Luftfahrzeugkategorie jeweils eingeklammert nachgestellt:

Motorflugzeug	(Mo)
Segelflugzeug	(Se)
Motorsegler	(MoSe)
Hubschrauber	(Hub)
Militärisches Strahlflugzeug	(Mil)
Ultraleichtflugzeug	(UL)

Im Anhang findet sich zu den einzelnen Unfällen bzw. gefährlichen Begegnungen eine ausführlichere Beschreibung des Ablaufs.

• **Sonnenblendung**

Im untersuchten Zeitraum sind **9 Zusammenstöße** möglicherweise durch Sonnenblendung mitverursacht worden.

Zusammenstöße:

- 3X513-83 Nimbus (Se; Blendung möglich) kollidiert mit Ventus (MoSe) beim Formationsflug mehrerer Segelflugzeuge, Unterfliegen in Formation
- 3X173-86 Piper Pa18 (Mo; Schleppflugzeug) stößt in der Platzrunde mit einer Ka8 (Se) zusammen
- 3X103-93 Zwei Segelflugzeuge im Platzverkehr
- 3X074-92 Blendung möglicherweise bei einer Piper PA28 (Mo)
- 4X031-95 Zwei Segelflugzeuge auf Gegenkurs im Reiseflug
- 3X271-96 Segelflugzeug kollidiert mit Rettungshubschrauber
- 3X306-97 Kollision eines Motorseglers mit einem Flugmodell
- 3X191-98 Panavia Tornado (Mil) mit DG100 (Se), Blendung bei Tornado möglich
- 3X127-99 Blendung möglicherweise bei AlphaJet (Mil)

gef. Begegnungen:

- keine

- **Schlechte Erkennbarkeit**

Schlechte visuelle Erkennbarkeit, z. B. bei geringer Querschnittsfläche eines Luftfahrzeugs direkt von vorne oder geringem Kontrast zur Umgebung, ist bei **15 Zusammenstößen und 5 gefährlichen Begegnungen** als Ursache ermittelt worden. Besonders bei hoher Annäherungsgeschwindigkeit, wie z.B. bei militärischen Strahlflugzeugen, ist die visuelle Erkennbarkeit von erheblicher Bedeutung, da die nach dem Erkennen verbleibende Distanz zwischen den kollisionsgefährdeten Luftfahrzeugen in wenigen Sekunden zurückgelegt wird und die Zeit zum Reagieren somit äußerst gering ist.

Zusammenstöße:

- 3X266-82 Cessna 172 (Mo) stößt mit Cessna 152 (Mo) zusammen, Ablauf nicht rekonstruierbar
- 3X013-83 Piper Pa28 (Mo) stößt mit Cessna 172 (Mo) zusammen
- 3X238-83 Mirage (Mil; französisch) stößt mit Partenavia PN68 (Mo; in Platzrunde) zusammen
- 3X407-84 F4 Phantom (Mil) stößt mit Cessna 172 (Mo; Flugschüler) zusammen
- 3X163-85 Änderung der Betriebsrichtung: startendes Motorflugzeug Pa28 stößt mit entgegengesetzt landendem Segelflugzeug zusammen
- 3X173-86 Piper Pa18 (Mo; Schleppflugzeug) stößt in Platzrunde mit Ka8 (Se) zusammen
- 3X214-90 F16 (Mil; US-amerikanisch) stößt mit Segelflugzeug zusammen
- 3X117-92 Tornado (Mil) weicht einem Hängegleiter aus und stößt mit zweitem, nicht erkannten, zusammen
- 4X031-95 Zwei Segelflugzeuge auf Gegenkurs im Reiseflug
- 3X157-96 F4 Phantom (Mil; in erweiterter Platzrunde) stößt mit UL (im Reiseflug) zusammen
- 3X306-97 Kollision eines Motorseglers mit einem Flugmodell
- 3X191-98 Tornado (Mil) mit DG100 (Se)
- 3X125-99 Zlin42 (Mo) stößt im Reiseflug mit Robinson R22 (Hub) zusammen
- 3X127-99 Alphajet (Mil) stößt mit DA20 (Mo) zusammen
- 3X242-99 Cessna 150 (Mo) stößt in Platzrunde mit Pa28 (Mo) zusammen

gef. Begegnungen:

- 3X080-85 Flugweg einer SF25 (MoSe) wird im Endanflug von mil. Jet gekreuzt
- RX084-88 F4 Phantom (Mil) mit Cessna 152 (Mo)
- 3X567-91 Cessna 150 (Mo) stürzt nach gefährlich Begegnung mit F4 Phantom (Mil; Abstand 150 – 350 m) ab, beide im Reiseflug
- 3X224-99 UL stürzt nach gef. Begegnung mit F4 Phantom (Mil) ab
- 5X006-00 Cessna 441 (Mo; IFR) mit Beech C90A (Mo; VFR)

- **Eingeschränkte Sicht durch Konstruktion/ Cockpitaufbau**

Ein eingeschränktes Sichtfeld des Piloten durch die Konstruktion des Luftfahrzeugs (z.B. bei Hochdeckern) oder durch Cockpitaufbauten wurde bei **11 Zusammenstößen und 2 gefährlich Begegnungen** als Teilursache ermittelt. Insbesondere bei militärischen Strahlflugzeugen ist die Sichteinschränkung durch Cockpitstruktur erheblich, von den 13 Vorfällen fanden 3 Zusammenstöße (davon ein Zusammenstoß mit einem Hubschrauber) und 2 gefährliche Begegnungen unter mil. Beteiligung statt. Die Kombination eines Hochdeckers mit einem etwas höher fliegendem Tiefdecker führte ebenfalls mehrfach zu konstruktiv bedingter Sichteinschränkung.

Zusammenstöße:

- 3X170-83 Robin DR400 (Mo; Schleppflug) stößt bei Anflug zum Seilabwurf mit DG200 (Se) im Endanflug zusammen
- 3X407-84 F4 Phantom (Mil) stößt mit Cessna 172 (Mo; Flugschüler) zusammen
- CX004-84 Piper Aztech (Mo) berührt Beech C1900 (Mo) bei Fotoflug
- 3X024-86 Fuji 200 (Mo) trifft Cessna 150 (Mo) im Endanflug von hinten oben
- 3X565-88 Pa28 (Mo) mit Bell UH-1D (Mil; Hub) im Hubschrauberschutzgebiet Bückeburg
- 3X427-89 Twin Astir (Se) berührt Ka 6 (Se)
- 3X103-93 Zwei Segelflugzeuge im Platzverkehr
- 3X387-94 Zwei Motorflugzeuge stoßen im Endanflug zusammen
- 3X157-96 F4 Phantom (Mil; in erweiterter Platzrunde) stößt mit UL (im Reiseflug) zusammen
- 3X271-96 Segelflugzeug stößt mit einem Rettungshubschrauber zusammen
- 3X242-99 Cessna 150 (Mo) stößt in Platzrunde mit Pa28 (Mo) zusammen

gef. Begegnungen:

- 3X567-91 mil.; Cessna C150 (Mo) stürzt nach gefährlicher Begegnung mit F4 Phantom (Mil; Abstand 150 – 350 m) ab, beide im Reiseflug
- 3X224-99 UL stürzt nach gef. Begegnung mit F4 Phantom (Mil) ab

- **Ablenkung**

Bei **7 Zusammenstößen** waren die Piloten abgelenkt, wie z.B. durch flugbetriebliche Tätigkeiten. Hierzu gehörten z.B., speziell bei militärischer Beteiligung, die Koordination mit Verbandsflugzeugen, jedoch ebenso die Konzentration auf einen vereinsinternen Ziellandewettbewerb bei zwei Segelflugschülern.

Zusammenstöße:

- 3X238-83 Mirage (Mil; französisch) stößt mit Partenavia PN68 (Mo; Platzrunde) zusammen
- 3X407-84 F4 Phantom (Mil) stößt mit Cessna 172 (Mo; Flugschüler) zusammen
- 3X024-86 Fuji 200 (Mo) trifft Cessna 150 (Mo) im Endanflug von hinten oben
- 3X427-89 Twin Astir (Se) berührt Ka 6 (Se)
- 3X214-90 F16 (Mil; US-amerikanisch) stößt mit Segelflugzeug zusammen

- 3X436-90 Zwei Segelflugzeuge stoßen in der Platzrunde zusammen; Ablenkung durch vereinsinternem Ziellandewettbewerb bei beiden beteiligten Flugschülern
- 3X383-98 Cessna C172 (Mo) stößt mit C 150 (Mo) im Platzverkehr zusammen

gef. Begegnungen:

- keine

- **Kollision trotz Absprache**

Zu **4 Zusammenstößen** ist es gekommen, obwohl vor oder während des Fluges Absprachen über den Flugverlauf getroffen wurden. Dabei hat z.B. das Verhalten mindestens eines der Piloten dazu geführt, dass beide Piloten das jeweils andere Luftfahrzeug nicht mehr sehen konnten.

Zusammenstöße:

- CX004-84 Piper Aztech (Mo) berührt Beech C1900 (Mo) bei Fotoflug
- 3X244-93 Zwei Sprühubschrauber stoßen zusammen
- 3X113-97 Zwei Motorsegler im Verbandsflug stoßen zusammen
- 3X015-01 Zwei Motorflugzeuge im Verbandsflug stoßen zusammen

gef. Begegnungen:

- keine

- **Mangelnde Erfahrung**

Mangelnde Erfahrung der Piloten hat bei **4 Zusammenstößen** und **1 gefährlichen Begegnung** zum Unfallhergang beigetragen. Diese mangelnde Erfahrung hat möglicherweise zu Fehleinschätzungen geführt bzw. zu einem für den anderen beteiligten Luftfahrzeugführer nicht vorhersehbaren Verhalten.

Zusammenstöße:

- 3X357-88 Tornado (Mil) mit UL (Flugschüler) bei Übungsflug für Flugtag
- 3X436-90 Zwei Segelflugzeuge stoßen in der Platzrunde zusammen; Ablenkung durch vereinsinternem Ziellandewettbewerb bei beiden beteiligten Flugschülern
- 3X178-94 Motorflugzeug (Pilot mit wenig Flugstunden) nähert sich einem kreisenden Segelflugzeug und stößt mit diesem zusammen
- 3X387-94 Zwei Motorflugzeuge stoßen im Endanflug zusammen

gef. Begegnungen:

- 5X005-99 Socata TB21 (Mo) kommt nachts im Platzverkehr in Frankfurt einem startenden Airbus A320 gefährlich nahe, Pilot hatte weder Nacht- noch CVFR-Berechtigung

- **Mangelnde Luftraumbeobachtung**

Durch mangelnde Luftraumbeobachtung der Piloten wurden **17 Zusammenstöße** mitverursacht.

Zusammenstöße:

- 3X383-98 Cessna C172 (Mo) stößt mit Cessna 150 (Mo) im Platzverkehr zusammen
- 3X170-83 Robin DR400 (Mo; Schleppflug) stößt bei Anflug zum Seilabwurf mit DG200 (Se) im Endanflug zusammen
- 3X013-83 Piper Pa28 (Mo) stößt mit Cessna 172 (Mo) zusammen
- 3X173-86 Piper Pa18 (Mo; Schleppflugzeug) stößt in Platzrunde mit Ka8 (Se) zusammen
- 3X046-87 SF25 (MoSe; im Endanflug) mit startendem UL, UL-Pilot hat Landeanflugbereich nicht beobachtet
- 3X565-88 Pa28 (Mo) mit Bell UH-1D (Mil; Hub) im Hubschrauberschutzgebiet Bückeburg
- 3X427-89 Twin Astir (Se) berührt Ka 6 (Se)
- 3X103-93 Zwei Segelflugzeuge im Platzverkehr
- 3X074-92 Motorflugzeug im Reiseflug stößt mit kreisendem (Thermik) Segelflugzeug zusammen
- 3X373-93 Motorsegler setzt im Endanflug auf anfliegendem Segelflugzeug auf
- 3X387-94 Zwei Motorflugzeuge stoßen im Endanflug zusammen
- 4X031-95 Zwei Segelflugzeuge auf Gegenkurs im Reiseflug
- 3X440-95 Zwei Cessna 172 (Mo) stoßen bei Anfliegen des selben unkontrollierten Platzes zusammen
- 3X379-97 Zwei Segelflugzeuge stoßen im Platzverkehr zusammen
- 3X125-99 Motorflugzeug stößt mit Hubschrauber zusammen, beide im Reiseflug
- 3X242-99 Cessna 150 (Mo) stößt in Platzrunde mit Pa28 (Mo) zusammen
- 3X044-00 SF25 (MoSe) stößt mit LS4 (Se) im Endanflug zusammen

gef. Begegnungen:

- keine

- **Meteorologisch eingeschränkte Sicht**

Eingeschränkte Sichtverhältnisse, wie z.B. Dunst, wurden bei **1 Zusammenstoß** (mit mil. Beteiligung) als mögliche Teilursache angegeben.

Zusammenstöße:

- 3X117-92 Tornado (Mil) weicht einem Hängegleiter aus und stößt mit zweitem, nicht erkannten, zusammen

gef. Begegnungen:

- keine

- **Fehleinschätzung**

7 Zusammenstöße, bei denen den Piloten die Nähe anderer Luftfahrzeuge bewusst war, diese die Situation (z.B. die Annäherungsgeschwindigkeit) jedoch falsch einschätzten. Diese Fehleinschätzung ging jedoch häufig mit massivem Fehlverhalten einher, wie z.B. Unterfliegen eines anderen Luftfahrzeugs bei Formationsflug.

Zusammenstöße:

- 3X100-81 RF4 (MoSe) stößt mit SF25 (MoSe) bei versuchtem Looping um SF25 zusammen
- 3X513-83 Nimbus (Se; Blendung möglich) kollidiert mit Ventus (MoSe) bei Formationsflug mehrerer Segelflugzeuge, Unterfliegen in Formation
- 3X357-88 Tornado (Mil) mit UL (Flugschüler) bei Übungsflug für Flugtag
- 3X436-90 Zwei Segelflugzeuge stoßen in der Platzrunde zusammen; Ablenkung durch vereinsinternem Ziellandewettbewerb bei beiden beteiligten Flugschülern
- 3X373-93 Motorsegler setzt im Endanflug auf anfliegendem Segelflugzeug auf
- 3X178-94 Motorflugzeug (Pilot mit wenig Flugstunden) nähert sich einem kreisenden Segelflugzeug und stößt mit diesem zusammen
- 3X283-95 Zwei Segelflugzeuge stoßen beim Thermikkreisen zusammen

gef. Begegnungen:

- keine

- **Lotsen- / Flugleiterfehler**

Durch falsches Verhalten bzw. Unterlassung von Fluglotsen oder Flugleitern wurden **5 Zusammenstöße** und **2 gefährliche Begegnungen** mit verursacht.

Zusammenstöße:

- 3X163-85 Änderung der Betriebsrichtung: startendes Motorflugzeug Pa28 stößt mit entgegengesetzt landendem Segelflugzeug zusammen
- 3X024-86 Fuji 200 (Mo) trifft Cessna 150 (Mo) im Endanflug von hinten oben
- 3X357-88 Tornado (Mil) mit UL (Flugschüler) bei Übungsflug für Flugtag
- 3X387-94 Zwei Motorflugzeuge stoßen im Endanflug zusammen
- 3X446-94 Zwei Motorflugzeuge (eins davon Schleppflugzeug bei Rückkehr zum Platz) stoßen im Platzverkehr zusammen

gef. Begegnungen:

- 5X006-00 Cessna 441 (Mo; IFR) mit Beech C90A (Mo; VFR)
- 5X005-99 Socata TB21 (Mo) kommt nachts im Platzverkehr in Frankfurt einem startenden Airbus A320 gefährlich nahe

- **Fehlverhalten**

11 Kollisionen und 1 gefährliche Begegnung, die durch offensichtliches Fehlverhalten der Piloten verursacht wurden.

Zusammenstöße:

- 3X100-81 RF4 (MoSe) stößt mit SF25 (MoSe) bei versuchtem Looping um SF25 zusammen
- 3X513-83 Nimbus (Se; Blendung möglich) kollidiert mit Ventus (MoSe) bei Formationsflug mehrerer Segelflugzeuge, Unterfliegen in Formation
- 3X163-85 Änderung der Betriebsrichtung: start. Pa28 (Mo) stößt mit entgegengesetzt landendem Discus (Se) zusammen
- 3X173-86 Piper Pa18 (Mo; Schleppflugzeug) stößt in Platzrunde mit Ka8 (Se) zusammen
- 3X046-87 SF25 (MoSe; im Endanflug) mit startendem UL, UL-Pilot hat Landeanflugbereich nicht beobachtet
- 3X357-88 Tornado (Mil) mit UL (Flugschüler) bei Übungsflug für Flugtag
- 4X012-93 Nichteinhaltung der Sichtflugbestimmungen (Ausflug aus Wolke)
- 3X387-94 Zwei Motorflugzeuge stoßen im Endanflug zusammen
- 3X446-94 Zwei Motorflugzeuge (eines davon Schleppflugzeug bei Rückkehr zum Platz) stoßen im Platzverkehr zusammen -> mangelnder Funkverkehr
- 3X225-95 Fehlverhalten in der Abflugzone eines Segelflugwettbewerbs (Thermiksuche, hochgezogene Fahrtkurve)
- 3X379-97 Zwei Segelflugzeuge stoßen im Platzverkehr zusammen (mangelnde Absprache)

gef. Begegnungen:

- 5X005-99 Socata TB21 (Mo) kommt nachts im Platzverkehr in Frankfurt einem startenden Airbus A320 gefährlich nahe

6. Menschliche Leistungsfähigkeit

6.1. Die Leistungsfähigkeit des menschlichen Auges

In nahezu allen Ländern dieser Welt hat der jeweils national verantwortliche Gesetzgeber Tauglichkeitsrichtlinien für Piloten festgelegt. In diesen Richtlinien wird – meist in Anlehnung an ICAO Standard Annex 1 - ein hohes Maß an die Sehfähigkeit der Piloten-
augen gefordert. Zur Unfallvermeidung im Luftverkehr wird nach dem allgemein gültigen Prinzip „Sehen und gesehen werden“ eine volle Sehfähigkeit mit oder ohne Korrekturhilfen verlangt. Die Vorschriften zielen dabei ausschließlich auf die Funktionsfähigkeit des optischen Apparates eines Piloten, in der Annahme, wenn dieser möglichst störungsfrei funktioniert, ist das Prinzip „Sehen und gesehen werden“ optimal umgesetzt und Kollisionsvermeidung im Luftverkehr gewährleistet.

Dieser gesetzgeberische Ansatz berücksichtigt jedoch nicht den kompletten Sehakt des Piloten und bedarf, bezogen auf Kollisionsvermeidung von Luftfahrzeugen, einer gründlichen Revision und eines wesentlich erweiterten Ansatzes.

Im Rahmen der BEKLAS-Studie soll deswegen der Versuch unternommen werden, das menschliche Leistungsvermögen des optischen Kanals genauer zu beschreiben, die Grenzen seiner Möglichkeiten zu benennen und einen Bezug zu den häufigsten Kollisionsszenarien im Luftverkehr herzustellen. Darüber hinaus sollen Vorschläge entwickelt werden, durch welche die Leistungsfähigkeit des optischen Kanals unterstützt und verbessert werden kann.

6.1.1. Generelles

Um einen Kollisionsunfall in der Luft vermeiden zu können, ist das Prinzip „Sehen und gesehen werden“ entscheidend, d. h. der Pilot eines Luftfahrzeuges muss ein Luftfahrzeug auf Kollisionskurs zuerst als Objekt erkennen können, dieses auf einem Kollisionskurs befindlich wahrnehmen und als Konsequenz daraus die richtige Handlung zur Kollisionsvermeidung einleiten können. Damit dieses von einem Piloten umgesetzt werden kann, muss das „gegnerische“ Luftfahrzeug erkennbar sein.

Um die Möglichkeiten eines Piloten zur Vermeidung eines Kollisionsunfalles näher zu beschreiben, müssen zunächst seine Fähigkeiten und Grenzen des optischen Erkennens eines Objektes näher untersucht und beschrieben werden (**Informationsaufnahme**).

Danach muss untersucht werden, wie die optische Information im Gehirn gesehen, bewertet und zu einer Handlungskonsequenz verarbeitet wird (**Informationsverarbeitung**).

Zuletzt muss die Handlungskonsequenz aus der Verarbeitung einer optischen Information in folgerichtige muskuläre Bewegungsmuster für Steuereingaben umgesetzt werden, damit das Luftfahrzeug auf eine kollisionsvermeidende Flugbahn gesteuert wird (**Informationsumsetzung**).

Der Prozess – Informationsaufnahme – Informationsverarbeitung und Informationsumsetzung muss unter Berücksichtigung der Systemträgheit des Menschen und des geflogenen Luftfahrzeuges sodann zeitlich bewertet werden.

Sind die zeitlichen Dimensionen dieses Prozesses festgestellt, kann an Hand der vorliegenden Unfallanalysen überlegt werden, wie und durch welche Maßnahmen eine Prozessoptimierung erfolgen könnte, um zukünftig die Zahl von Kollisionsunfällen zu minimieren.

6.1.2. Das Auge - Informationsaufnahme

Optische Informationen werden über den Gesichtssinn aufgenommen und ermöglichen dem Menschen eine schnelle, hochempfindliche und dreidimensionale aufgelöste Wahrnehmung der Umwelt in einem weiteren Bereich von unmittelbarer Nähe bis in große Ferne. Dabei wird das von einer Lichtquelle ausgesandte oder von einem Gegenstand reflektierte Licht im menschlichen Auge durch Brechung und Sammlung auf die für das Licht spezifischen Rezeptoren in der Netzhaut (Retina) fokussiert. In diesen spezifischen Rezeptoren wird das fokussierte Licht über biochemische Prozesse in nervöse Erregung transformiert und als elektronisches Signal über die Sehnerven zu entsprechendem Sehrindenarealen im Gehirn geleitet und ausgewertet. Der spektrale Empfindlichkeitsbereich des menschlichen Auges entspricht dem Licht von blau bis rot mit Wellenlängen von 400 – 750 nm, das deshalb auch als sichtbares Licht bezeichnet wird.

Das menschliche Auge besteht aus einem zusammengesetzten Linsensystem, bei dem mehrere brechende Medien hintereinander geschaltet sind. Hornhaut, Kammerwasser, Linse und Glaskörper bilden als dioptrischer Apparat dieses Linsensystem und gewährleisten eine scharfe Abbildung von parallel einfallenden Lichtstrahlen auf der Netzhaut. Dabei trägt die Hornhaut mit 43 Dioptrien den größten Teil an der Gesamtbrechkraft von 58,8 Dioptrien des dioptrischen Apparates bei.

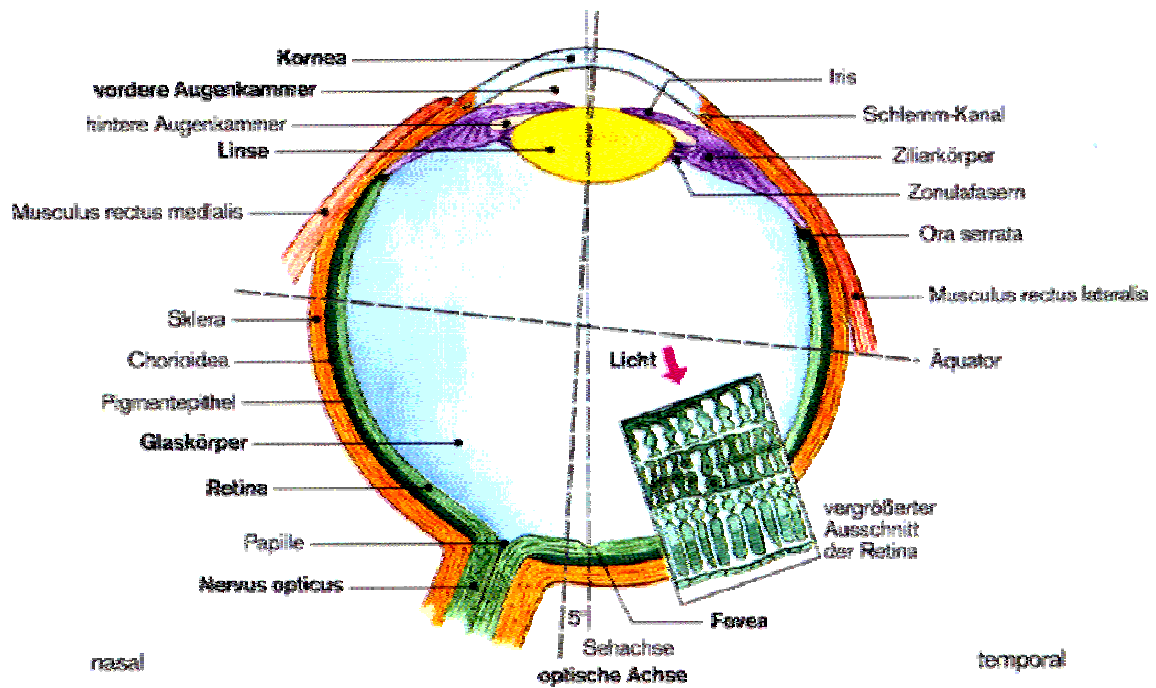


Abb. 6: schematischer Längsschnitt des menschlichen Auges

Die normale Länge des Augapfels beträgt 24,3 mm. Die Bildkonstruktion aus achsenparallelen Lichtstrahlen und dem senkrecht auf die Hornhaut treffenden Zentralstrahl ergibt über das zusammengesetzte Linsensystem des Auges durch den 17 mm vor der Netzhaut liegenden Knotenpunkt ein umgekehrtes, verkleinertes, reelles Bild der Umwelt auf der Netzhaut.

Ein Objekt von 18 cm Größe, aus einem Abstand von einem Meter betrachtet, ergibt nach dem Strahlensatz ein umgekehrtes Bild von 3,06 mm auf der Netzhaut ($180 \text{ mm} / 1000 \text{ mm} = B / 17 \text{ mm}$). Dies entspricht einem Sehwinkel von 10° . Ein Sehwinkel von 1° entspricht dann ca. 0,3 mm auf der Netzhaut.

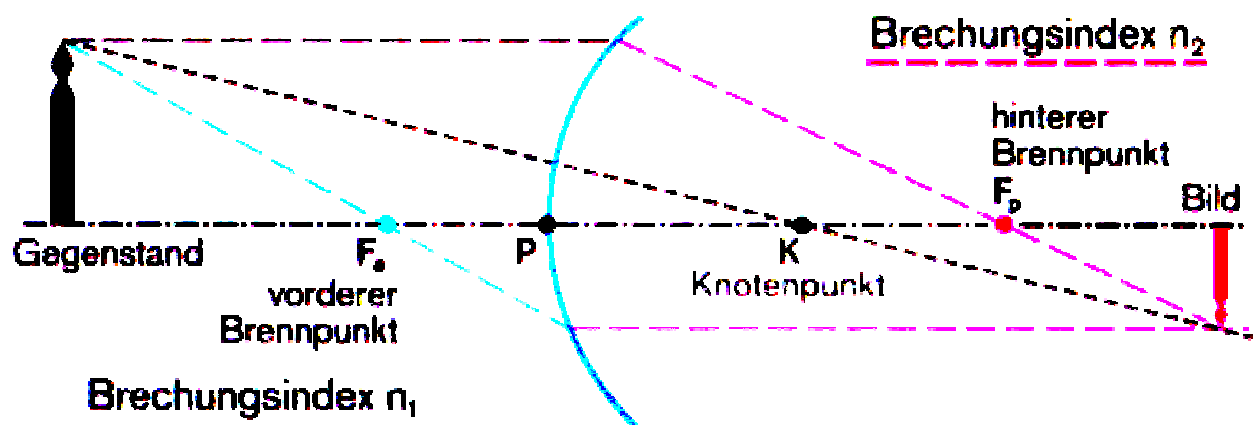


Abb. 7: Bildkonstruktion am vereinfachten menschlichen Auge

Die Netzhaut des menschlichen Auges ist mit ca. 130 Millionen lichtempfindlichen Rezeptoren besetzt. Davon sind 7 Millionen Zapfenrezeptoren, die überwiegend an der Stelle des schärfsten Sehens in der 0,2 mm Durchmesser messenden „Fovea centralis“ konzentriert sind und das farbige Sehen vermitteln. Die restlichen ca. 123 Millionen Stäbchenrezeptoren, deren Konzentration von der Fovea centralis zur Peripherie der Netzhaut nur wenig abnehmen, vermitteln das Hell- /Dunkel-Sehen, sowie Bewegungsreize.

Das Auflösungsvermögen der Netzhaut wird gemäß der üblichen Lehrmeinung folgendermaßen dargestellt:

Das retinale Auflösungsvermögen der Netzhaut von 1 Winkelminute (entspricht 1/60 Grad) entspricht der Trennung von zwei Punkten im Abstand von 5 µm auf der Netzhaut.

Der minimale Abstand der Zapfen in der Fovea centralis beträgt 2,4 – 2,6 µm. Demnach können dort 2 Punkte als getrennt wahrgenommen werden, wenn sie 2 Zapfen erregen, zwischen denen ein weiterer Zapfen liegt. Danach liegt bei optimalen Voraussetzungen im optischen Apparat eines Piloten (Visus 1.0) die Auflösungsgrenze für Objekte in 1 km Entfernung bei 0,294 m Objektgröße
(Objektgröße / 1.000.000 mm = 0,005 mm / 17 mm).

Im folgenden wird jedoch gezeigt, dass unter optimalen Bedingungen ein Auflösungsvermögen der Netzhaut von einer Winkelsekunde nachweisbar ist, folglich ein Seh-schärfeäquivalent von sechzig vorliegen kann. Diese Fähigkeit ist an eine „Subpixel – Verarbeitung“ der Netzhaut gebunden und scheint mit der natürlichen Bewegungsunruhe der Augen (Mikrosaccaden) sowie mit räumlicher– und zeitlicher Summation der neuronalen Impulse in Zusammenhang zu stehen [6].

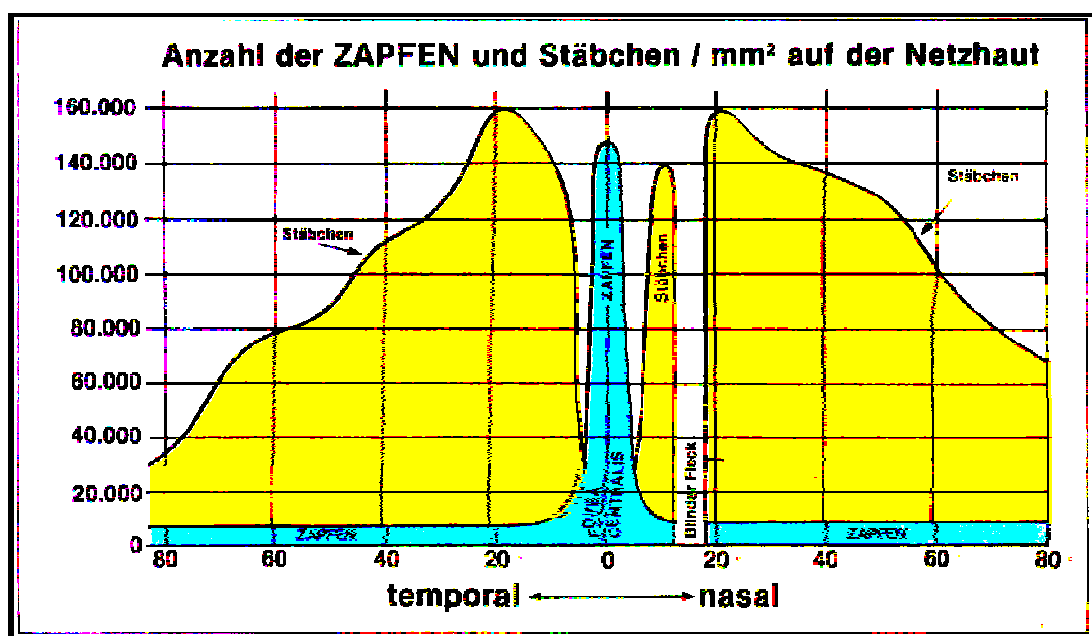


Abb. 8: Verteilung von Zapfen und Stäbchen auf der Netzhaut

4° außerhalb der Fovea centralis hat sich der Abstand der Zapfen bereits vervierfacht, so dass auch die Sehschärfe zur Netzhautperipherie hin abnimmt.

Die Sehschärfe ist weiterhin leuchtdichteabhängig. Sie beträgt bei Dämmerungslicht nur noch etwa 0,1. Diese Sehschärfe bezieht sich auf 1,0 = 100 % Sehschärfe bei Tageslicht. Um nachts dasselbe Objekt erkennen zu können, muss man den Abstand um 90% reduzieren. Der Grund dafür ergibt sich aus der zunehmenden räumlichen Summation der Stäbchen durch nervale Verschaltung mehrerer Rezeptoren auf eine Ganglienzelle. Dadurch nimmt bei Dunkeladaptation die Lichtempfindlichkeit zu, die räumliche Auflösung aber ab.

6.1.3. Informationsverarbeitung

Wird ein Objekt, welches sich auf Kollisionskurs befindet, auf der Netzhaut des Piloten in genügender Größe und Intensität abgebildet, ist noch nicht sichergestellt, dass der Pilot dieses auch wahrnimmt und entsprechende Handlungen unternimmt, um eine Kollision zu vermeiden.

Hierzu muss die optische Information verarbeitet werden. Dieser Vorgang geschieht im Gehirn des Piloten. Hat er z. B. einen Punkt auf der Cockpitscheibe erkannt, muss er ihn nach Größe, Flugrichtung und ggf. Geschwindigkeit analysieren. Bewegt sich der Punkt auf der Cockpitscheibe nicht, muss er zwischen den Alternativen

- „Fliegendreck auf der Cockpitscheibe“,
- „vorausfliegendes Objekt auf gleichem Kurs und gleicher Geschwindigkeit, also ungefährlich“, oder
- „entgegenkommendes Objekt mit stehender Peilung³, rasch größer werdend, sehr gefährlich“

differenzieren.

Hierzu muss der Pilot auf Erfahrungswerte und Gedächtnisinhalte zurückgreifen, die er in Form von Engrammen, also Modellvorstellungen, für diese Situation während seiner Ausbildung oder seiner bisherigen fliegerischen Tätigkeit (Erfahrungswerte) im Gedächtnis abgespeichert hat.

Kommt der Pilot bei dieser Bewertung zu dem Schluss, dass es sich bei dem Objekt um ein entgegenkommendes Flugzeug mit stehender Peilung handelt, welches ihm auf seinem Flugweg gefährlich werden könnte, muss er wiederum auf gespeicherte Erfahrungsmodelle zurückgreifen, die ihm bei einer Entscheidung in dieser Situation den größten Nutzen bringen. In diesem Fall muss er auf gelernte Ausweichregeln zurückgreifen, die die Geschwindigkeit des eigenen und des gegnerischen Flugzeuges einschätzen, sowie die Reaktionsfähigkeit seines eigenen Flugzeuges berücksichtigen, um zu einem optimalen Ausweichmanöver zu gelangen.

³ Beobachtet man im Flug ein anderes fliegendes Objekt, so bewegt es sich normalerweise gegenüber dem Vordergrund (z.B. Instrumente, Streben etc.). Abhängig vom Winkel der beiden Kurspfade gibt es aber auch ein bestimmtes Geschwindigkeitsverhältnis, bei dem diese Bewegung nicht mehr wahrnehmbar ist und das beobachtete Objekt seine Position relativ zum Vordergrund nicht mehr ändert. Dieser Effekt wird als stehende Peilung bezeichnet.

Hat er sich für ein in dieser Situation optimales Modell entschieden, muss er seine aus der Informationsverarbeitung gewonnene Entscheidung in eine Information an sein Flugzeug umsetzen (**Informationsumsetzung**).

Hierzu muss er die für die Steuereingaben notwendigen Effektoren (Muskeln) ansteuern, um über deren Kraftentfaltung die notwendigen Steuerelemente so zu regeln, wie es das im Pilotengehirn gespeicherte Modell als optimal vorgibt.

6.1.4. Reaktionszeiten des Mensch- / Maschinesystems

Je nach Erfahrung des Piloten, also abhängig vom Übungsgrad und der Anzahl der zur Verfügung stehenden, im Gedächtnis abgespeicherten Modelle für diese Situation, benötigt der Vorgang von Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und Informationsumsetzung Zeit.

Nennt man für die Elementarentscheidung zwischen zwei Alternativen den Begriff „bit“, so werden die pro Zeiteinheit möglichen Entscheidungen dann als Kanalkapazität in bit / sec bezeichnet.

Für den optischen Kanal wird nach [7] eine Kapazität von $3 \cdot 10^6$ bit / sec und für den akustischen Kanal eine Kapazität von $4 \cdot 10^4$ bit / sec angegeben. [8] gibt die Kanalkapazität des Bewusstseins mit 10 – 50 bit / sec an.

Es kommt also auf der Ebene der Informationsverarbeitung zu einer erheblichen Reduzierung der Kanalkapazität.

In der Literatur wird die Zeit vom optischen Erkennen über die Verarbeitung der Information bis zur Umsetzung in richtige Steuerbefehle eine Zeit von 1034 ms angegeben [9].

Bei einer Annäherungsgeschwindigkeit von zwei Flugzeugen auf direktem Kollisionskurs mit jeweils einer Geschwindigkeit von 200 km/h und einer Entfernung von 1.000 m, beträgt die Zeit bis zur Kollision 9 sec.

Unterstellt man eine optimale Reaktionszeit von 1,04 sec bei beiden Flugzeugführern und eine Reaktionszeit der Flugzeuge von 4 sec bis die Steuereingaben zur Kursänderung führen, so ergibt sich rechnerisch ein Flugweg von 560 m. In einer Entfernung von 1.000 m können die Piloten bei üblicher (aber unzulässiger) Annahme eines Visus von 1,0 nur Objekte erkennen, die größer als 0,162 m sind. Die Profildicken moderner Segelflugzeuge liegen mit 0,06 – 0,08 m deutlich unter diesem Wert, so dass in dieser Situation die Erkennbarkeit nur durch den jeweiligen Rumpfquerschnitt des Flugzeuges mit ca. 0,6 – 0,7 m gegeben ist.

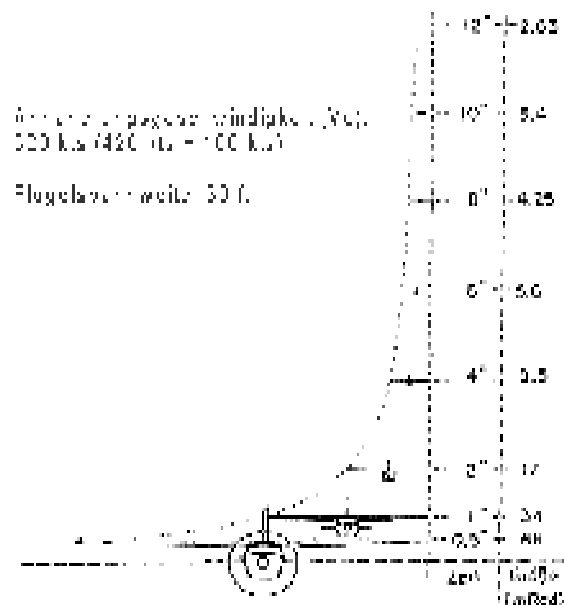


Abb. 9: Sichtwinkel und Zeit bis zum Zusammenstoß mit einem Militärflugzeug bei Annäherungsgeschwindigkeit von 520 km/h [Bundeswehr aus Flugsicherheit 5/88]

6.2. Flugmedizinisch - optische Aspekte

6.2.1. Terminologische Grundlagen

- Sichtbarkeit
- Erkennbarkeit
- Wahrnehmung

Der Begriff „Erkennbarkeit“ umfasst neben der Sichtbarkeit auch die Wahrnehmung. Zum Verständnis des weiteren Textes ist sprachliche Klarheit über die drei Begriffe notwendig, besonders wenn nach Mittel zur Verbesserung der Erkennbarkeit gesucht wird.

• Sichtbarkeit

Die Sichtbarkeit ist an physikalische Eigenschaften eines Gegenstandes gebunden, z.B. an die Fähigkeit, Photonen auszusenden oder zu reflektieren. Etwa 10 einzelne Photonen - entsprechend dem Licht, das ein kleiner Stern am Nachthimmel aussendet - reichen aus, um eine Lichterkennung auszulösen.

- **Erkennbarkeit**

Das Prinzip der Sichtfliegerei: „Sehen und gesehen werden“ ist an eine störungsfreie Reizaufnahme des Auges gebunden. Der Lichtsinn dominiert alle anderen reizaufnehmenden Sinne. Um einen Gegenstand zu erkennen, muss das aufnehmende Organ über sensorische Leistungen verfügen. Von 10 Photonen werden 9 von den transparenten Medien des Auges absorbiert. Ein einzelnes Photon, das auf die Netzhaut fällt, kann von einem der ca. 130 Millionen Stäbchen und Zapfen in bioelektrische Signale umgewandelt werden. Direkt auf der Netzhaut findet eine Bildverarbeitung mit einer Datenreduktion oder Verstärkung statt, um die Signale auf je eine Million Nervenfasern pro Sehnerv weiter zu leiten.

Das Auge ist im Vergleich zu einer Kamera ein sehr schlechter optischer Apparat, aber die Eigenschaften des Gesichtssinnes, wie Kontrastverarbeitung und Auflösungsvermögen sind exzellent. Das Auge kann nach kurzer Adaptationszeit extrem große Lichtmengen verarbeiten.

Mindestens drei Voraussetzungen müssen erfüllt sein, damit für das menschliche Auge ein Objekt erkennbar wird [10]:

1. Das Objekt muss einen bestimmten Mindestkontrast gegen seine unmittelbare Umgebung besitzen. Zumeist besteht ein gleichzeitiger Leuchtdichte- und Farbkontrast.
2. Das Objekt muss eine bestimmte Mindestgröße besitzen, sonst ist es unsichtbar.
3. Das Objekt oder seine Umgebung oder auch beides zusammen müssen eine gewisse Mindestleuchtdichte besitzen. Ein Objekt, das am hellen Tag noch gut zu erkennen ist, wird bei Dämmerung oder Nacht völlig unsichtbar, obgleich sich weder seine Größe noch sein Kontrast zur Umgebung verändert hat.

Als Ergänzung sei angeführt, dass ein sehr kontrastarmes Objekt auch durch eine Eigenbewegung im peripheren Gesichtsfeld zum Erkennungsreiz führen kann.

- **Wahrnehmung**

Die bewusste Wahrnehmung und Identifikation des Gegenstandes mit der Bewertung, ob es sich um ein ausweichpflichtiges Objekt handelt, ist eine Gehirnfunktion, die zeitlich nach der Reizaufnahme abläuft. In anderen Worten: Das eigentliche Sehen findet erst in der Gehirnrinde statt; dort ist der Ort, wo der Fliegendreck auf der Cockpitscheibe von einem drohenden Luftfahrthindernis differenziert wird.

Die einzigartigen Eigenschaften des Auges in Kombination mit der nachgeschalteten Bildverarbeitung sind das Resultat eines starken Selektionsdruckes, der aus den enormen Vorteilen einer optischen Informationsverarbeitung resultiert.

6.2.2. Grundlagen des Erkennens

Die Sinnesqualitäten des Auges gliedern sich in:

- Sehschärfe
- Gesichtsfeld
- Farbsehen und das
- räumliche Sehen

als weitergehende Funktion einer beidäugigen Zusammenarbeit.

Wegen der besonderen Fragestellung des Gutachtens kann auf die Erörterung des Farbsehens und des räumlichen Sehens verzichtet werden. Die Sehschärfe und das Gesichtsfeld sind die, für die Kollisionsvermeidung von Luftfahrzeugen, herausragenden Teilsinne des Auges.

6.2.3. Sehschärfe

Die Sehschärfe wird bei jeder Fliegertauglichkeitsuntersuchung eines Piloten durch den Fliegerarzt oder Augenarzt mit standardisierten Sehzeichen, im Allgemeinen mit den vorgeschriebenen Landoltringen (Abb. 10), gemessen. Der Öffnungswinkel eines Landoltrings ist ein direktes Maß für die Sehschärfe, er entspricht einem Winkel von einer Bogenminute. Kann der Pilot auf eine Entfernung von 5 m mindestens 3 der 5 angebotenen Landoltringe in ihren unterschiedlichen Positionen richtig erkennen, hat er eine Sehschärfe von 1,0 auf dem geprüften Auge. (Visus 1,0 oder 100%)

Für die Fliegertauglichkeit Klasse 1 nach JAR FCL 3 (deutsch) ist bei Verkehrspiloten und Militärpiloten mit oder ohne Korrektur mindestens 1,0 auf dem besseren Auge und 0,8 auf dem schlechteren Auge, sowie beidäugig 1,0 Sehschärfe gefordert.

Bei Privatpiloten sind die Anforderungen an die Sehschärfe geringer. In den für sie geltenden Tauglichkeitsanforderungen Klasse 2 nach JAR FCL 3 (deutsch) wird eine Mindestsehschärfe mit oder ohne Korrektur von nur 0,5 sowie beidäugig 1,0 verlangt.

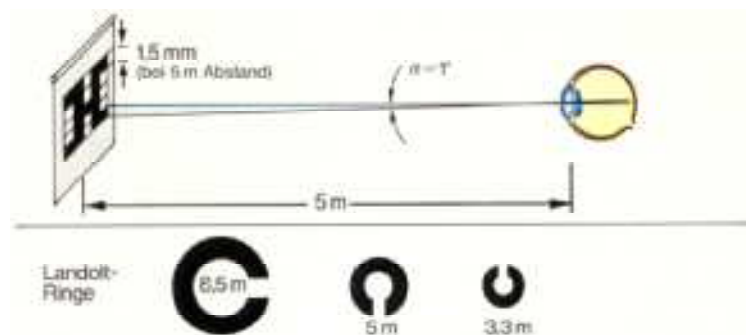


Abb. 10: Sehschärfeprobe mit standardisierten Landoltringen

Die Erkennbarkeit ist selbstverständlich von der Entfernung zum Objekt abhängig. Diese Sehschärfe wird **Diskriminationssehschärfe** genannt, und sollte vom Augenarzt, vom Fliegerarzt, oder vom Arbeitsmediziner nach DIN 58 220 [11] gemessen werden.

Die Sehschärfe, wie sie mit Landoltringen gemessen wird, hat aber, entgegen der Meinung einiger Unfallgutachter, nicht viel mit dem Erkennen von Luftfahrthindernissen selbst zu tun. Beim Erkennen von Luftfahrthindernissen kommt es nicht auf die Diskriminierung von Öffnungswinkeln von Sehzeichen an, sondern darauf, ob überhaupt etwas erkannt wird.

Bei einem Flugzeug in der Ferne wäre dies genau ein kleines Pünktchen am Himmel. Diese Art von Sehschärfe wird in der augenärztlichen Literatur als **Punktsehschärfe** bezeichnet. Diese Punktsehschärfe liegt wesentlich höher, als die zuerst genannte Diskriminationssehschärfe. Das Äquivalent der Sehschärfe für die Erkennbarkeit von Punkten liegt gemessen bei 1,5 [12].

Wenn es um die **Erkennbarkeit eines strichförmigen Objektes** geht, wie z.B. eine Hochspannungsleitung, ein Windenseil, oder eine Seilbahn, dann liegen die Grenzen der Erkennbarkeit noch wesentlich höher. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen: Wenn das Windenseil bei einem Segelflugstart beim Ausklinken von der Startstelle aus noch sichtbar ist, dann befindet es sich bei einer Schleppstrecke von 800 m in ca. 1.000 m Entfernung. Bei einem Durchmesser des Seiles von 4,6 mm entsprechen die Kanten des Seils einem Sehwinkel von $0,00024^\circ$, umgerechnet etwas weniger als 1 Winkelsekunde. Dies entspricht einem Wert der Auflösung von 60 bei Anwendung des üblichen Verfahrens der Visus – Berechnung [13].

- **Zusammenfassung Visus / Sehschärfe**

Die Erkennbarkeit von Objekten hängt sehr stark von ihrer Struktur ab. Eine Anflugkarte verlangt manchmal eine Sehschärfe von 1,0. Eine Drahtleitung z.B. kann mit wesentlich besserer Auflösung erkannt werden.

6.2.4. Gesichtsfeld

Das Gesichtsfeld ist das, was bei fixierten Auge und Kopf übersehen werden kann. Die Untersuchung des Gesichtsfeldsinnes prüft die Wahrnehmung von großen Lichtmarken bei Abbildung auf der äußeren Netzhaut. Kleinere Lichtmarken werden in der Nähe der Stelle des schärfsten Sehens gesehen. Je näher man an der Stelle des schärfsten Sehens prüft, desto empfindlicher ist die Netzhaut. Dies gilt sowohl für unbewegte Objekte, deren Helligkeit ansteigt, als auch für Objekte, die sich der Stelle des schärfsten Sehens nähern. Synergetisch zum Gesichtsfeldsinn wirkt die natürliche Fixationsunruhe der Augen. Dieses sind ständige, unwillkürliche, kleine Augenbewegungen, die ein Ausnutzen der retinalen Sehschärfe sicherstellen, da die retinalen Ganglienzellen auf Reizänderungen reagieren (Impulsmustererneuerung). Ohne diese Fixationsunruhe bildet sich eine sogenannte Fixationsblindheit aus.

Die Gesichtsfeldgrenzen liegen in Richtung der Schläfen (temporal) bei 100° , nach unten bei 70° , nasal und nach oben bei 60° . In den Randzonen des Gesichtsfeldes gibt es nur schwarz / weiß Empfindungen. Das Blickfeld bezeichnet den Bereich, der bei fixierten Kopf, aber bewegten Augen fixiert werden kann. Mit Hilfe der Augenmuskulatur kann das Blickfeld nach außen, innen und unten um 45° , nach oben um 35° verlagert werden. Wird ein Lichtpunkt auf der Netzhautperipherie abgebildet, so löst er reflektorisch eine Augenbewegung in seine Richtung aus, um den Lichtpunkt an der Stelle des schärfsten Sehens, der Fovea centralis, zu fixieren. Große Objekte kann man im äußeren Gesichtsfeld wahrnehmen, kleine Objekte kann man nur in der Mitte des Gesichtsfeldes erkennen.

Der Gesichtsfeldsinn hat erstaunliche Eigenschaften. So kann z.B. der Seheindruck einer großen bunten Fläche eintönig sein, obwohl die sensiblen Sehzellen in der Netzhaut sehr inhomogen verteilt sind. Diese „sinnvolle“ Integration der weiterverarbeitenden Hirnareale reicht bis zu einem gefährlichen „Ausgleichen“ von natürlichen und erworbenen Gesichtsfeldausfällen, die dem Betroffenen nicht bzw. nicht mehr bewusst sind.

Jeder Mensch hat in der Nähe der Stelle des schärfsten Sehens einen unbewussten Gesichtsfeldausfall. Innerhalb dieses sogenannten blinden Fleckes ist kein Erkennen möglich, wenn man nur mit einem Auge schaut. Zur Veranschaulichung soll folgendes Beispiel dienen: Der Durchmesser des blinden Fleckes von 5-7 Grad bedeutet bei einem Einäugigen, dass die runde Hülle eines Ballons von 16,80 m Durchmesser in einem Abstand von 200 Metern im blinden Fleck verschwinden könnte. Nach dem Strahlensatz ist die Bedeutung für die Motorradfahrer viel folgenswerer. Die Silhouette eines Zweiradfahrers hat dieselbe Breite wie ein Segelflieger, d.h. etwa 60 cm. Die Höhe beträgt etwa 1,60 m. Wie oben erklärt wurde, entscheidet der kleinere der beiden Werte über die Sichtbarkeit. Auch wenn man die großzügig bemessene Fläche eines Kreises mit dem Durchmesser von 1 m annimmt, würde im schlimmsten Fall der blinde Fleck im Abstand von 12 m vollständig ausgefüllt sein. Die Aussage von zigtausend Autofahrern: „Den Motorradfahrer habe ich nicht gesehen“ gewinnt damit zwar keinen exkulpierenden aber glaubhaften Charakter.

Beim Sehen mit beiden Augen gleicht das Gehirn diesen Defekt aus, in dem es die Informationen des anderen Auges addiert. Auch hier hat die natürliche Bewegungsunruhe der Augen Auswirkungen, indem sie vor potentiell fatalen Gesichtsfeldausfällen schützt.

6.2.5. Übergeordnete Einflüsse der Erkennbarkeit

- **Kontrast**

Diejenige Beleuchtung, bei der das Auge am besten zwischen zwei unterschiedlichen Lichtstärken differenzieren kann, nennt man **Lichtunterschiedsschwelle**. Die höchste Kontrastempfindlichkeit besitzt man zwischen 3 und 3000 cd/m^2 [14]. Eine Straße in der Mittagssonne, ein Scheinwerfer oder die Sonne besitzen Leuchtdichten von 10^5 bis 10^9 cd/m^2 .



Abb. 11: Kontrastarmut (eigener Flügel rechts, zweites Flugzeug in Verlängerung des Flügels vor dem Schneefeld auf der Felskante)

Die Definition des Kontrastes lautet: $(\text{maximale Helligkeit} - \text{geringere Helligkeit})$ geteilt durch $(\text{maximale Helligkeit} + \text{geringere Helligkeit})$. Dieser Kontrastwert wird in Prozent angegeben [15]. Aus diesem Quotienten ergibt sich zwanglos, dass die Wahrnehmung von Objekten gegen Null tendieren kann, wenn keine ausreichenden oder zu starke Kontraste vorhanden sind. Diese „Konturauflösung“ wird zum Beispiel im militärischen Bereich mit Hilfe der Tarnanstriche bezweckt.

- **Bewegung**

Ein im Gesichtsfeld erscheinendes Objekt bewirkt normalerweise innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde eine gezielte Blickbewegung zum Objekt. Hierbei wird das Auge bis zu einer Drehgeschwindigkeit von 400° pro Sekunde beschleunigt und wieder abgebremst. Zweck der Bewegung ist die Abbildung des Objektes auf der Stelle des schärfsten Sehens zur Identifikation und Bewertung. Diese Routinen laufen zum großen Teil außerhalb des Bewusstseins und zeitlich vor der bewussten Wahrnehmung ab.

Welche Größe, welche Bewegungsgeschwindigkeit und welchen Kontrast das Objekt zur Auslösung der Blickbewegung haben muss, ist noch Gegenstand der Forschung. Die Fähigkeit zur Bewegungswahrnehmung fällt aber zur Netzhautperipherie hin nicht

Objekt viel früher wahrgenommen wird als ein identisches, unbewegtes Objekt (Eine getrennte Verarbeitung von Bewegung und Objekten ist beim Riddoch - Phänomen bekannt. Siehe auch [14]). Es steht fest, dass die Erkennbarkeit um so besser ist, je näher die Objekte an der Stelle des schärfsten Sehens liegen. Es steht auch fest, dass eine entsprechende Erwartungshaltung die Wahrnehmbarkeit stark fördern kann. Aus diesem Grund werden in der Pilotenausbildung die Methoden des „Abscannens“ der Umgebung gelehrt.

- **Aufmerksamkeit**

Wenn ein Pilot eine Hochspannungsleitung in weiter Ferne wahrnimmt, dann übertrifft die optische Auflösungsfähigkeit die übliche (Erkennungs-) Sehschärfe um den Faktor sechzig. In krassem Widerspruch zu diesen Erkenntnissen steht die Erfahrung, dass man auf einem Campingplatz über alle möglichen eigentlich gut sichtbaren Zeltschnüre stolpert. Die Ursache dafür ist fehlende Erwartungshaltung bzw. Unaufmerksamkeit (viele Zelte sind niedriger als die Augenhöhe und werden deshalb nicht rechtzeitig bemerkt, obwohl auf einem Campingplatz durchaus Zelte zu erwarten sind) und die (nicht) folgenden Blickbewegungen, welche die Wahrnehmbarkeit in etwa um den Faktor 400 verbessern könnte. Dieser Faktor ergibt sich rein rechnerisch aus dem Auflösungsvermögen bis 60 für „verschwindende“ strichförmige Objekte und der in der Literatur beschriebenen Sehschärfe von 0,05 im peripheren Gesichtsfeld, „Unerwartet“ im peripheren Gesichtsfeld auftauchende Zeltschnüre müssten deshalb eine Dicke von 1,7 cm haben, um wahrgenommen zu werden.

Die Erkennbarkeit von strichförmigen Strukturen im peripheren Gesichtsfeld scheint aber offensichtlich höher zu sein, wie es der zwanglose Blick auf eine Hochspannungsleitung zeigt. Im peripheren Gesichtsfeld scheint der Unterschied zwischen Erkennungssehschärfe und Auflösungsvermögen noch größer als im zentralen Gesichtsfeld zu sein.

- **Zusammenfassung zu Kontrast, Bewegung und Aufmerksamkeit**

- Die Wahrnehmung von Objekten kann gegen Null tendieren, wenn keine ausreichenden Kontraste vorhanden sind.
- Bewegte Objekte nimmt man eher wahr als unbewegte.
- Das Wichtigste zur Förderung der Erkennbarkeit und Wahrnehmung ist eine gezielte Erwartungshaltung des Piloten.

7. Technik und Instrumente

Das vorliegende Kapitel stellt die aktuell verwendeten Techniken im Bereich der Erkennung von Luftfahrzeugen sowohl bodengebunden als auch bordautonom dar und erklärt sie. Das Kapitel „Grundlagen der Technik“ ist in zwei Hauptbereiche unterteilt. Zunächst werden elektronische Hilfsmittel beschrieben, die den Piloten oder den Fluglotsen helfen, andere Flugzeuge zu orten. Im zweiten Teil werden Maßnahmen erläutert, wie die visuelle Sichtbarkeit von Flugzeugen heutzutage und in der Vergangenheit unterstützt wurde.

Im Kapitel „Grundlagen der Instrumente“ wird auf aktuelle Instrumente eingegangen, die sich die Technik aus den vorhergehenden Kapiteln zunutze machen.

7.1. Grundlagen der Technik

7.1.1. Elektronische Hilfsmittel

Die elektronischen Hilfsmittel kann man in zwei prinzipiell unterschiedliche Gruppen einteilen:

1. Nicht - kooperative Systeme
Unter dem Oberbegriff „Nicht-kooperative Systeme“ werden Systeme verstanden, die nicht von einer speziellen Ausrüstung der anderen Luftfahrzeuge abhängig sind. Das bedeutet, diese Systeme arbeiten autonom und bieten auch dann einen zusätzlichen Schutz, wenn andere Luftfahrzeuge keine entsprechende Ausrüstung haben.
2. Kooperative Systeme
Unter „Kooperativen Systemen“ versteht man Systeme, bei denen verschiedene Geräte miteinander kommunizieren müssen, damit das System wirkungsvoll eingesetzt werden kann. In der Luftfahrt bedeutet dies, dass ein entsprechendes System nur dann eine umfassende Schutzfunktion erfüllen kann, wenn alle am Luftverkehr teilnehmenden Luftfahrzeuge entsprechend ausgerüstet sind.

- **Opto-elektronische Systeme**

Die opto-elektronischen Systeme zählen zu den „Nicht - kooperativen Systemen“. Ein entsprechendes System besteht aus einem hochauflösenden optischen Sensor und einer Auswertungs- und ggf. einer Anzeigeeinheit, in der das aufgenommene Umgebungsbild mit einer nachgeschalteten Bildverarbeitungssoftware weiterverarbeitet, ausgewertet und im Cockpit ggf. dargestellt wird. Da eine einzelne Kamera nur einen be-

grenzten Bereich erfassen kann, bieten sich zwei Varianten an, um einen möglichst großen Bereich abdecken zu können:

- Der Kamerasensor ist beweglich angebracht. Diese Anordnung hat jedoch den Nachteil, dass eine aufwendige und meist schwere Mechanik benötigt wird.
- Mehrere Kamerasensoren werden mit unterschiedlichen Blickrichtungen so angebracht, dass das Bild nach einer Datenfusion den gewünschten Bereich abdeckt.

Die nachgeschaltete Bildverarbeitungssoftware versucht, bewegliche Ziele zu detektieren. Ist dies geschehen, wird das Ziel getrackt, d.h. weiter beobachtet. Aus dieser Zielverfolgung lässt sich dann ein Gefährdungspotential für den Anwender ableiten.

Der Nachteil dieser Systeme liegt darin, dass ein optischer Kamerasensor ein Minimum an Kontrast und Sichtweite benötigt. Der große Vorteil gegenüber dem menschlichen Auge, das ja ebenfalls diesen Einschränkungen unterliegt, ist darin zu sehen, dass eine große Anzahl detektierter Ziele parallel weiterverfolgt werden können.

• **Radar und Transponder**

Das Radar kann prinzipiell beiden Sparten („nicht-kooperativ“ bzw. „kooperativ“) zugeordnet werden:

Das **Primär-Radar** („nicht-kooperativ“) sendet Radarstrahlen aus und wertet die von Objekten reflektierten Strahlen aus. Damit werden (fast) alle Objekte im Beobachtungsvolumen erfasst. Ein Beobachtungsvolumen ist hierbei der Luftraum, der von einem Radar zu einem bestimmten Zeitpunkt gerade erfasst wird. Das Radar arbeitet mit gerichteten und gebündelten Strahlen, die einen 3°-Sektor umfassen. Allerdings werden zunächst auch stehende Objekte wie Berge oder Häuser dargestellt. Um diese zu unterdrücken, werden beim Eintreffen der reflektierten Signale mit Hilfe der Dopplerverschiebung bewegte Ziele herausgefiltert und nur diese dem Fluglotsen auf seinem Radarschirm dargestellt.

Die zweite Variante ist das **Sekundärradar** („Secondary Surveillance Radar“, SSR; „kooperativ“). Dieses arbeitet in Kombination mit dem Primärradar, sendet aber aktiv Abfragen auf einem speziellen Abfragekanal (1030 MHz) in das Beobachtungsvolumen mit aus. Diese „Abfragen“ können von **Transpondern** an Bord von Luftfahrzeugen empfangen werden. Diese Transponder antworten auf die Abfrage auf einem zweiten, dem Antwortkanal (1090 MHz).

Es gibt verschiedene Transponder- Modi. Diese werden nach ihrer Anwendung (zivil oder militärisch) sowie dem Abstand zwischen zwei gesendeten Impulsen unterschieden (siehe Tabelle 1).

Modus		Anwendung	Impulsabstand
1		militärisch	3 μ s
2		militärisch	5 μ s
3	A	militärisch + zivil	8 μ s
	B	zivil	17 μ s
	C	zivil	21 μ s
	D	zivil	25 μ s

Tabelle 1: SSR-Modi

Transponder im **Mode A** antworten mit einer vom Piloten eingestellten Kennung. Diese Kennung bekommt der Pilot entweder von einem Lotsen zugewiesen oder er stellt bei einem Flug die für bestimmte Höhen bzw. Situationen vorgesehen Kennungen ein (siehe Tabelle 2).

Flugart	VFR		IFR und VFR		
Flughöhe	< 5000 ft	> 5000 ft	beliebig	beliebig	beliebig
Transponder Code	0021/A	0022/A/C	7500	7600	7700
Bemerkung	freiwillig	vorgeschrieben	Entführung	Funkausfall	Notfall

Tabelle 2: vorgeschriebene und empfohlene Transpondercodes in der BRD

Für diese Kennung sind $8^4 = 4096$ Kombinationen denkbar. Transponder, die zusätzlich für **Mode C** ausgerüstet sind, übertragen in diesem Betriebszustand zusätzlich zu ihrer Kennung noch die aktuelle Flughöhe, die aus einem speziellen Höhenmesser (encoding altimeter) ausgelesen wird. Diese Flughöhe wird in 100-Fuss-Schritten übermittelt.

Zukünftig werden Transponder im **Mode S** (Selectivte) zum Einsatz kommen. Mode S zeichnet sich dadurch aus, dass jeder Transponder eine weltweit einmalige 24-Bit-Adresse bekommt. Damit sind knapp 17 Millionen unterschiedliche Adressen möglich. Weiterhin ist ein großer Vorteil der Mode S - Technologie, dass außer der Transponder-Kennung und der Höhe des Flugzeuges weitere Daten übertragen werden können. Die Antwort, die ein Mode S - Transponder aussendet, besteht aus einer so genannten Präambel, einer aus vier Impulsen bestehenden Kontrollsequenz, gefolgt von einem 56- oder 112-Bit-Datenblock mit Informationen. Dieser Informationsdatenblock enthält

- die Adresse des Transponders,
- die Höhe in 25-Fuß-Schritten,
- die Flugzeugidentifizierung,
- den Status (am Boden oder in der Luft),
- den SSR-Mode 3/A (siehe Tabelle 1)
- Ausweichempfehlungen vom bordeigenen Kollisionswarngerät und
- Informationen zur Übermittlungskapazität des Transponders

Diese Mode S - Grundstufe wird als „Elementary Surveillance“ bezeichnet. Eine weitere diskutierte Ausbaustufe nennt sich „Enhanced Surveillance“. In dieser Stufe soll die Übertragung weiterer Daten wie die aktuelle Position (aus einem Satellitennavigationssystem), Flugrichtung und Geschwindigkeit möglich sein.

Das Stichwort „**Funkfeldbelastung**“ wird in vielen Berichten angeführt. Die Einführung von Mode S - Transpondern soll diese Belastung reduzieren. In der Literatur konnte keine eindeutige Definition dieses Begriffes gefunden werden. Daher können auch keine absoluten Zahlen angegeben werden. Allerdings kann die relative Verbesserung durch Einführung von Mode S - Transpondern gegenüber dem aktuellen Stand erläutert werden:

Sendet ein SSR-Bodenradar einen Abfrage-Impuls auf dem Abfragekanal (1030 MHz) aus, so antworten auf dem Antwortkanal (1090 MHz) so viele Transponder (Mode A/C), wie momentan im Beobachtungsvolumen vorhanden sind. Dadurch kann es zu Überlappungen von Antwortsignalen der unterschiedlichen Transponder kommen. Damit ist eine eindeutige Zuordnung von Signalen zu einem Luftfahrzeug nicht mehr möglich. Dieses Problem wird als FRUIT (False Replies Unsynchronised In Time) bezeichnet. Kann dagegen, wie beim Mode S - Verfahren, nur ein Transponder selektiv angesprochen werden, so wird auch nur dieser antworten. Dadurch wird der Antwortkanal stark entlastet.

- **Airborne Collision Avoidance System (ACAS)**

Das Grundprinzip der ACAS- Geräte besteht darin, dass von dem System benachbarte Flugzeuge, die mit Sekundärradar-Transpondern ausgerüstet sind, verfolgt werden. Es ist also ebenfalls ein sog. „kooperatives System“. Die Transponder werden ungefähr sekundlich abgefragt, so dass sich aus der Abfrage-Antwort-Laufzeit die Schrägentfernung und aus dem Antwortinhalt die barometrische Höhe des abgefragten Flugzeuges ergibt. Das System schätzt die Entwicklung einer Situation ab und gibt dem Piloten eine Verkehrsanzeige („Traffic Advisory“, TA) oder Ausweichempfehlung („Resolution Advisory“, RA).

- **Überwachung von Flugzeugen mit Mode A/C - Sekundärradar-Transponder**
Ein ACAS- System sendet sekundlich eine Abfrage aus, auf die nur Mode A/C Transponder antworten, nicht aber Mode S - Transponder. Um zu verhindern, dass sich die Antworten der einzelnen Flugzeuge im Umkreis überlagern, wird die Abfrage bis zu 24 mal mit jeweils erhöhter Leistung gesendet. Damit wird die Umgebung quasi in Form von Kugelschalen abgetastet, da die Transponder der jeweiligen anderen Flugzeuge nur auf die erste Abfrage, die sie einwandfrei empfangen konnten, antworten.
- **Überwachung von Flugzeugen mit Mode S - Transpondern**
Flugzeuge mit Mode S - Transpondern werden zunächst nur passiv identifiziert, indem der von ihnen gesendete Squitter, ein sekundlich wiederkehrendes Signal, ausgewertet wird. Dieser enthält neben anderen Daten auch die barometrische Höhe des anderen Flugzeuges, die mit der eigenen Höhe verglichen wird. Sobald der vertikale Abstand zu einem erfassten Flugzeug unter 3.000 ft fällt oder die Höhengleichheit innerhalb der nächsten 30 Sekunden vom System vorhergesagt wird, wird auf aktive Überwachung umgeschaltet. Das Kollisionsschutzsystem fragt dann wie bei Mode A/C sekundlich den Mode S - Transponder ab. Dies geschieht ebenso, wenn dieser nicht von sich aus Höheninformationen sendet (z.B. weil diese nicht von anderen Flugzeugen oder Bodenstationen abgefragt werden).

- **Konflikterkennung aus Schrägentfernungsdaten**

Aus der Laufzeit zwischen Abfrage und Antwort eines Signals eines ACAS II-Gerätes (siehe Kapitel 7.2.2) kann das solchermaßen ausgerüstete Flugzeug die Schrägentfernung zu Flugzeugen in seiner Umgebung messen. Untersuchungen haben gezeigt, dass die einfache Ermittlung der Distanz zu dem in den Überwachungsraum eindringenden Flugzeug zu häufig zu Fehlalarmen führen würde. Deswegen wird als Kriterium für einen Alarm die vorhergesagte Zeit bis zur Kollision verwendet. Ist diese Zeit gerade noch groß genug, um ein Ausweichmanöver zu fliegen, wird dem Piloten eine Ausweichempfehlung gegeben.

Die Gefahr einer Kollision ist nicht gegeben, wenn die Flugzeuge in ausreichend unterschiedlichen Höhen fliegen. Deswegen werten ACAS II- Systeme zusätzlich die eigene Höhe und die aus der Antwort des anderen Flugzeugs erhaltene Höheninformation aus (sofern dies mit einem Mode C / Mode S - Transponder ausgerüstet ist) und geben nur dann eine Warnung an den Piloten weiter, wenn auch die Höhendifferenz einen kritischen Wert erreicht hat. Aufgrund der bestehenden sehr geringen Auflösung der Höhenangaben ist die daraus gewonnene Information aber eigentlich nicht gut geeignet für die Auswertung durch ein Kollisionsschutzsystem.

Für das ACAS gelten die in Tabelle 3 aufgeführten Regelungen.

	Europa	USA
ACAS I	nicht vorgeschrieben	Flugzeuge mit 10-30 Sitzplätzen
ACAS II	seit 01.01.2000: Luftfahrzeuge über 15t oder mit mehr als 30 Sitzplätzen ab 01.01.2005: Luftfahrzeuge über 5.7t oder mit mehr als 19 Sitzplätzen	Flugzeuge mit als 30 Sitzplätzen
ACAS III	nicht vorgeschrieben	nicht vorgeschrieben

Tabelle 3: Regelungen über den verpflichtenden Betrieb von ACAS [33]

- **Automatic Dependent Surveillance**

Automatic Dependent Surveillance (ADS) ist eine Überwachungstechnik, bei der jedes beteiligte Luftfahrzeug flugzeugspezifische Daten versendet, die sowohl von entsprechenden Bodenstationen als auch von anderen beteiligten Luftfahrzeugen empfangen werden können (wiederum ein „Kooperatives System“). Das Gesamtsystem beinhaltet die Teilkomponenten ADS-contract (ADS-C) und ADS-broadcast (ADS-B), sowie die Traffic Information Services Broadcast (TIS-B) als Komponente, die vom Boden aus Daten zu den beteiligten Flugzeugen sendet (siehe Abb. 12)

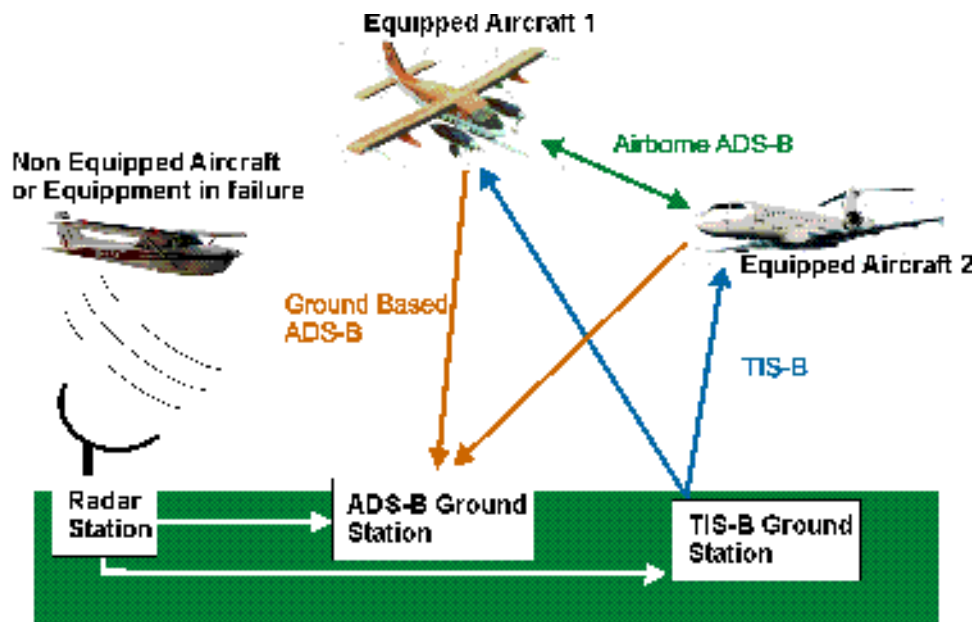


Abb. 12: Funktionsprinzip von ADS-B und TIS-B

- **ADS-B:** Die Daten werden über einen Datenlink (z.B. Transponder Mode S oder VHF Data Link (VDL) Mode 4) im broadcast-Modus versendet, d.h. das sendende Flugzeug oder die sendende Bodenstation weiß nicht, welche Stationen diese Daten empfangen. Das Datenpaket, das gesendet wird, beinhaltet die Flugzeugkennung, die aktuelle Position, die Zeit sowie Statusdaten über den Systemzustand. Es ist angedacht, in einer weiteren Ausbaustufe auch Daten wie die Bewegungsvektoren des Flugzeuges über Grund und gegenüber der Luft sowie den beabsichtigten Kurs etc. mit zu übertragen. Die empfangenen Daten können an Bord von Flugzeugen z.B. von einem Kollisionsschutzsystem verwendet werden. Eine Bodenstation kann mit den Daten z.B. ein wesentlich detaillierteres Bild der Situation im Luftraum für einen Radarlotsen erstellen. ADS-B soll ab 2008 im europäischen Luftraum verfügbar sein.
- **ADS-C:** Die Daten werden hier ebenfalls über einen Datenlink (z.B. Satellit oder VHF) versendet, allerdings direkt von einem Flugzeug zu einer korrespondierenden Bodenstation. Es sind verschiedene Kommunikationsformen vorgesehen:
 - Nach Aufforderung: das Flugzeug sendet nach einer Aufforderung sofort und nur einmal die angeforderten Daten
 - Periodisches Senden: das Flugzeug sendet periodisch seine Datenpakete
 - „Event“-orientiertes Senden: das Flugzeug sendet bei vorher definierten Ereignissen ein Datenpaket. Solche „Events“ können z.B. bestimmte Fehlfunktionen bei Instrumenten sein.
 - Senden im Notfall: das Flugzeug sendet bei einem Notfall ein bestimmtes Datenpaket an die Bodenstation
- **TIS-B:** Bei diesem System werden Informationen von einer Bodenstation an ein entsprechend ausgerüstetes Flugzeug gesendet. Diese Informationen können z.B. Radarbilder sein, die von einer bodengebundenen Radarstation aufgenommen worden sind. Mit Hilfe dieser Radarbilder kann ein geeignetes Gerät an

Bord eines Luftfahrzeuges dem Piloten einen Überblick über den Verkehr in seiner Umgebung liefern.

7.1.2. Technische Maßnahmen zur besseren visuellen Wahrnehmung

Neben den bislang angeführten elektronischen Hilfsmitteln stehen auch technische Maßnahmen zur besseren Wahrnehmung von anderen Luftverkehrsteilnehmern zur Verfügung. Hierbei können farbliche Markierungen und verschiedene Warnlichtanlagen eingesetzt werden. Die gesetzliche Grundlage bildet hierbei die Luftverkehrs-Ordnung. In der NfL II- 26/83 „Bekanntmachung über Zusammenstoß- Warnlichtanlagen und Farbkennzeichnung für Luftfahrzeuge“ [16] wird bekannt gegeben, dass Flugzeuge mit einer Warnlichtanlage ausgerüstet sein müssen, es sei denn,

- ihre Höchstmasse beträgt maximal 600 kg
- sie verfügen über kein Bordnetz
- sie haben keine für den Dauerbetrieb einer Warnanlage ausreichende Stromversorgung.

Diese Flugzeuge sowie Motorsegler dürfen dann nur nach VFR zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang fliegen , und müssen mit Farbkennzeichnungen an der Ober- und Unterseite der Flügelenden, am Bug und beidseitig am oberen Ende des Seitenleitwerks versehen sein. Weiterhin wird im Abschnitt 2.3 der NfL II - 26/83 ausgeführt, dass Segelflugzeuge, die in einem weißen bis hellgelben Gesamtfarbtönen gehalten sind und nur nach VFR zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang betrieben werden, keine Farbkennzeichnungen mit sich führen müssen. Im folgenden werden die Farbmarkierungen und Warnlichtanlagen separat aufgeführt und erläutert.

• Farbmarkierungen

Unter dem Begriff „Farbmarkierungen“ sind Markierungen zu verstehen, die temporär (z.B. per Klebefolie) oder permanent (z.B. per Lackierung) am Flugzeug angebracht sind. Meist sind dies farblich zum Rest des Flugzeuges abgesetzte Flächen, die dazu führen sollen, den Kontrast des Flugzeuges zu erhöhen. Nach der NfL II-26/83 müssen diese Markierungen, sofern sie vorgeschrieben sind, eine ununterbrochene Länge von 50 cm aufweisen und aus einer der Farben Gelborange (RAL 2000), Reinorange (RAL 2004), Orange (RAL 2005) oder Feuerrot (RAL 3000) bestehen. Weiterhin müssen die Farben auf den Grundfarbtönen so abgestimmt sein, dass sich eine „optimale Sichtbarkeit“ ergibt. Wie bereits erwähnt, sind Segelflugzeuge, deren Farbton nicht dunkler als RAL 1004 ist, von dieser verpflichtenden Farbmarkierung ausgenommen. Jedoch werden insbesondere bei Flügen in den Alpen die Segelflugzeuge wegen der Schneefelder mit Farbmarkierungen versehen, die meist temporär aus orangefarbiger Klebefolie aufgebracht werden.

In einer Untersuchung der Cranfield University College of Aeronautics konnte im August 2000 ein signifikanter Effekt von Farbfolien an Flugzeugflächen nicht nachgewiesen werden [17]. Bei diesen Versuchen flogen erfahrene Besatzungen auf zwei Grob 109 Touring Motorseglern auf zufälligen Annäherungskursen aufeinander zu. Hierbei war ein Motorsegler mit jeweils 8 Farbstreifen pro Fläche farbmarkiert, der andere war ein-

fach weiß lackiert. Die genaue Entfernung der Flugzeuge zueinander wurde per GPS bei der erstmaligen Erkennung bestimmt. Die Untersuchungen erfolgten an Sommerabenden mit einer Sicht von 10 km und mehr. Der farbmarkierte Motorsegler wurde im Mittel auf eine Distanz von 2,59 +/- 1,25 nm (nautische Meilen) erkannt. Der nicht farbmarkierte Motorsegler auf eine Distanz von 2,51 +/- 0,91 nm. Die Differenz dieser beiden Entfernungen war nicht signifikant.

Im Jahre 2002 wurden die Versuche mit Spiegelfolien zunächst auf den Tragflächen, anschließend auf den Quer- und Seitenrudern der Motorsegler wiederholt [18]. Bei der Anbringung der Folien auf den festen Flugzeugteilen (Tragflächen) gab es wie bei den vorangegangenen Versuchen keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Erkennen des präparierten und dem Erkennen des unpräparierten Motorseglers. Bei den Versuchen mit Spiegelfolien auf beweglichen Flugzeugteilen (Ruderflächen) konnte der präparierte Motorsegler dagegen früher erkannt werden. Die Aussage des Reports macht jedoch deutlich, dass hierfür unbedingt eine Sonneneinstrahlung vorhanden sein muss.

Bei farbigen Lackierungen von Flugzeugen sind allerdings strukturelle Randbedingungen zu beachten. Moderne Segelflugzeuge sind aus faserverstärktem Kunststoff hergestellt. Die Kunststoffe müssen nach der Bauvorschrift JAR 22.613 eine Temperatur von 54° Celsius aushalten. Bei direkter Sonneneinstrahlung können jedoch bereits weiße Oberflächen in den Bereich dieser Temperatur kommen. Bei farbigen Oberflächen werden 54°Celsius schnell überschritten. In diesem Fall ist die Festigkeit des Bauteils nicht mehr gewährleistet. Aus diesem Grund sind moderne Segelflugzeuge fast ausschließlich weiß lackiert. Bei modernen Motorflugzeugen, die nach der Bauvorschrift ACJ VLA [19] zugelassen werden sollen, gelten ebenfalls 54°C (siehe ACJ VLA 613(c)). Größere Motorflugzeuge, für die die Bauvorschrift JAR23 angewendet werden muss, werden ebenfalls zunehmend aus faserverstärkten Kunststoffen hergestellt. Auch hier gibt die Bauvorschrift eine maximale Temperatur vor, bis zu der die Kunststoffstruktur des Flugzeuges die Festigkeit beibehalten muss.

Daraus ist ersichtlich, dass auch bei diesen Flugzeugen sehr stark auf die Farbgebung geachtet werden muss. Konventionell aus Aluminium gefertigte Flugzeuge können dagegen in den unterschiedlichsten Farben lackiert werden, ohne strukturelle Nachteile in Kauf nehmen zu müssen.

Die oben erwähnten Studien [17] und [18] haben explizit bestätigt, dass der Einfluß der Farbmarkierungen auf die Struktur nicht untersucht wurde. Die Flüge wurden in den Abendstunden (2000) bzw. im Spätherbst (2002) durchführt, so dass keine Überhitzung zu befürchten war.

- **Zusammenstoß-Warnlichtanlagen**

Die JAR 23.1401 [20] regelt die Anforderungen an ein „Anti-collision light system“ (Zusammenstoß - Warnlichtanlage). Hierbei ist festgeschrieben, dass die Warnlichtanlage die Besatzung des Flugzeuges nicht stören darf. Die weiteren technischen Anforderungen sind der Tabelle 4 zu entnehmen.

Abdeckungsgebiet	Die Warnlichtanlage muss prinzipiell rundum sichtbar sein, sowie in einem Winkel von +/- 75° nach oben und unten abstrahlen.	
Farbe	Die Lichter dürfen entweder „Luftfahrt rot“ oder „Luftfahrt weiß“ sein. Die genaue Definition des Lichtes ist in JAR 23.1397 zu finden.	
Licht - Intensität	Für die Lichtintensität gibt es richtungsabhängige Mindestwerte:	
	Winkel über bzw. unter der Horizontlinie	Effektive Intensität [candela]
	0° bis 5°	400
	5° bis 10°	240
	10° bis 20°	80
	20° bis 30°	40
	30° bis 75°	20

Tabelle 4: technische Anforderungen an Zusammenstoß-Warnlichtanlagen nach JAR 23.1401

Weiterhin muss natürlich sichergestellt sein, dass das an Bord vorhandene Stromnetz den Energieverbrauch solch einer Warnlichtanlage über einen längeren Zeitraum zur Verfügung stellen kann, ohne überlastet zu werden. Hier ist insbesondere bei Luftfahrzeugen ohne Generator (z.B. Segelflugzeuge, Gleitschirme, Drachen) eine Grenze gesetzt.

7.2. Grundlagen der Instrumente

7.2.1. Transponder

In Deutschland ist die Einrüstung und Verwendung von Mode S - Transpondern über die FSAV (Verordnung über die Flugsicherungs-ausrüstung) [21] geregelt. Als Termin für die Ausrüstungspflicht ist dort der 01.01.2001 für neue Luftfahrzeuge (IFR) bzw. der 01.01.2003 für alle Luftfahrzeuge (IFR) genannt.

Die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH hat mit dem AIC IFR 6 vom 23. Januar 2003 die Termine für die Mode S - Transponder Pflichtausrüstung wie folgt verschoben:

Flüge, die von der Ausrüstungspflicht betroffen sind	Datum, ab dem Mode S vorgeschrieben ist
IFR Flüge mit neuen Flugzeugen	01. April 2004
IFR Flüge mit allen Flugzeugen	01. April 2005
VFR Flüge mit neuen Flugzeugen	01. April 2005
VFR Flüge mit allen Flugzeugen in Lufträumen, für die bereits heute ein Transponder vorgeschrieben ist	01. April 2008

Tabelle 5: Einführungsdaten von Transpondern mit Mode S

Luftfahrzeuge, die erst ab 01.04.2008 einen Transponder Mode S benötigen, sind alte (d.h. bereits zugelassene) Flugzeuge, die bestimmte Lufträume nutzen wollen (siehe Tabelle 5).

Luftfahrzeug	Luftraum
alle	Transponder Mandatory Zone (TMZ)
motorgetrieben	Luftraum C
motorgetrieben	oberhalb 5.000 ft MSL oder 3.500 ft GND, wobei der höhere Wert maßgebend ist
motorgetrieben	bei Nacht im kontrollierten Luftraum
motorgetrieben	geplant: Luftraum D (nicht Kontrollzone)

Tabelle 6: Lufträume, in denen Transponder vorgeschrieben sind

7.2.2. Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS)

Das US - System TCAS ist das einzige derzeit auf dem Markt verfügbare Airborne Collision Avoidance System.

Es existiert eine Reihe von Revisionen des TCAS- Systems:

- **TCAS I** : Dieses Gerät gibt dem Piloten eine Verkehrsanzeige aus, die ihn bei der Sichtentdeckung unterstützen soll. Die Reichweite liegt bei ca. 6 NM.
- **TCAS II** : Im Gegensatz zu TCAS I gibt dieses System nicht nur eine Verkehrsanzeige aus, sondern zusätzlich vertikale Ausweichempfehlungen. Ist an Bord beider beteiligten Luftfahrzeuge TCAS vorhanden, werden die Ausweichempfehlungen über die eindeutige Kennung der Mode S - Transponder koordiniert
- **TCAS III** : Zusätzlich werden auch horizontale Ausweichempfehlungen gegeben. Es wird ebenfalls ein Mode S - Transponder benötigt.

Das Grundprinzip der TCAS- Geräte wurde bereits in Kapitel 7.1.1. erläutert. An dieser Stelle soll nun der Ablauf einer gefährlichen Annäherung und die Reaktion des Systems darauf erläutert werden.

Luftfahrzeuge, die sich in Reichweite („Intruder“) des mit einem TCAS ausgerüsteten Flugzeugs befinden und die mit Sekundärradar- Transpondern ausgerüstet sind, werden vom System verfolgt. Die Transponder werden ungefähr sekundlich abgefragt, so dass sich aus der Abfrage-Antwort-Laufzeit die Schrägentfernung und aus dem Antwortinhalt die barometrische Höhe des abgefragten Luftfahrzeuges ergibt. Das System schätzt die Entwicklung einer Situation ab und gibt dem Piloten eine Verkehrsanzeige (Traffic Advisory - TA) oder Ausweichempfehlung (Resolution Advisory - RA).

Nähert sich der (mit einem Transponder Mode S ausgerüstete) Intruder bis auf einen vertikalen Abstand von 3.000 ft oder ermittelt das System Höhengleichheit innerhalb der nächsten 30 Sekunden, wird auf aktive Überwachung umgeschaltet und dem entsprechenden Symbol im Display eine bestimmte Farbe zugewiesen. Mit dem Zeitwert wird den Geschwindigkeiten Rechnung getragen. Eine reine Distanzschwelle wäre bei dem hohen und durch das wegen unterschiedlicher Annäherungswinkel äußerst breiten Geschwindigkeitsband zu unsicher. Bei etwa 3,3 NM oder 40 Sekunden wird eine TA, bei weniger als etwa 2,1 NM oder 25 Sekunden eine RA erteilt. Jetzt muss die RA vom Piloten unverzüglich befolgt werden.

Als potentielle Bedrohung erkennt das System das Flugzeug, das den geschützten Bereich voraussichtlich berührt. Die Cockpit-Crew erhält dann eine Traffic Advisory (TA), die sowohl visuell als auch akustisch wahrgenommen wird. Im Sekundentakt ermittelt TCAS den Status eines jeden „Eindringlings“. Erst wenn eine direkte Kollisions-

gefahr erkannt wird, gibt das System eine Resolution Advisory (RA). Diese fordert den Piloten auf, sofort den Anweisungen etwa nach Steig- oder Sinkflug zu folgen. Diese Steig- bzw. Sinkflughinweise werden vom TCAS mittels der eindeutigen Kennung der beteiligten Mode S - Transponder synchronisiert. Somit wird sichergestellt, dass nicht die Piloten von beiden Flugzeugen die gleiche Anweisung (z.B. beide Steigen) bekommen. EUROCONTROL empfiehlt allen Luftfahrzeug-Betreibern, ihren Piloten die Befolgung dieser Resolution Advisories vorzuschreiben [22].

Abbildung 13 zeigt einen grafischen Überblick über die Systemarchitektur der einzelnen Warnzonen.

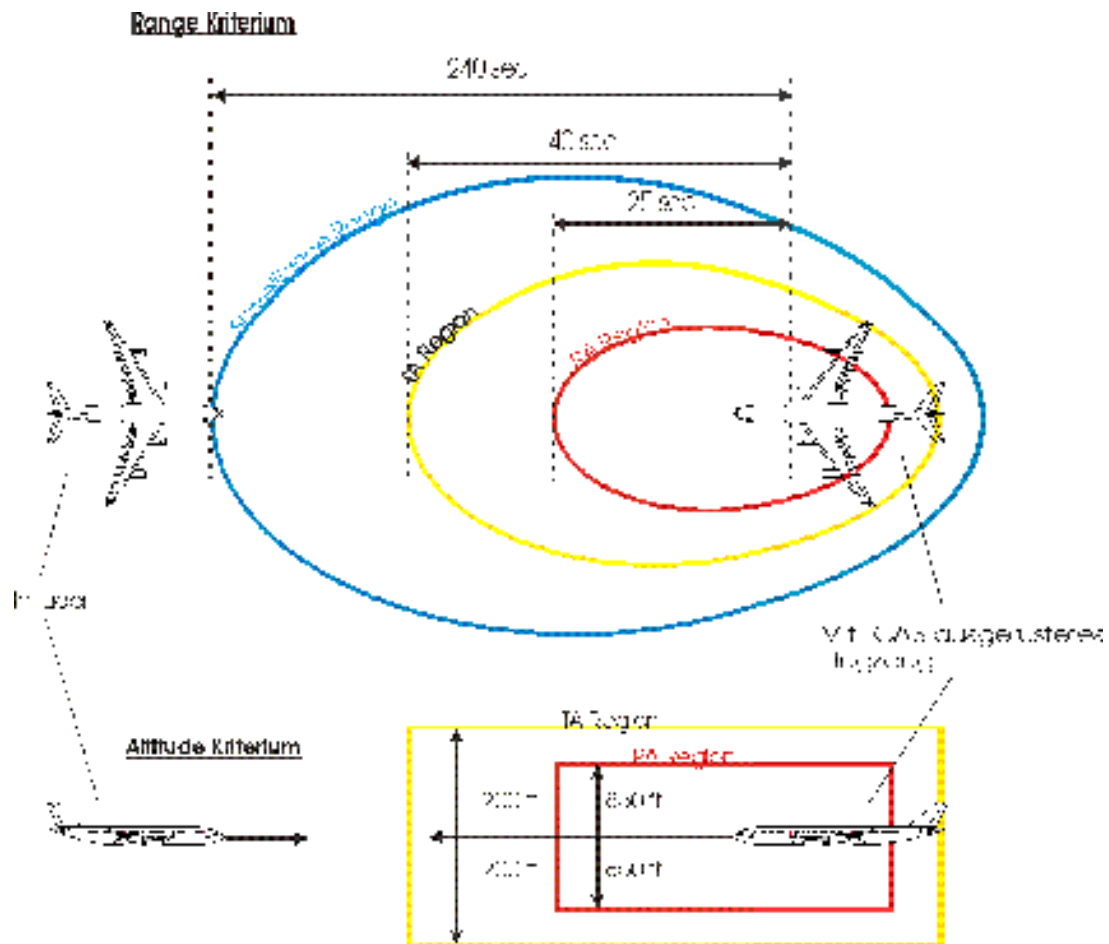


Abb.13: Funktionsprinzip TCAS

Laut. NfL II-30/03 [23] haben alle Luftfahrzeug eine RA unanhängig davon zu befolgen, ob sie einer erteilten Freigabe widerspricht oder nicht:

(...)

- 2.3 Im Falle einer ACAS-Ausweichempfehlung (RA), den Flugweg zu ändern, haben Luftfahrzeugführer
 - 2.3.1 unverzüglich zu reagieren und das Flugmanöver wie vorgegeben auszuführen, es sei denn dadurch würde die Sicherheit des Luftfahrzeuges gefährdet.

- (...)
- 2.3.3 einer Ausweichempfehlung (RA) auch dann zu folgen, wenn ein Konflikt zwischen der Ausweichempfehlung (RA) und einer Flugverkehrskontrollanweisung, ein bestimmtes Manöver auszuführen, besteht.
- 2.3.4 sofort alle von ACAS erteilten nachfolgenden Ausweichempfehlungen (RA) zu befolgen.
-

Allerdings wird in dieser NfL einschränkend weiter geschrieben:

- Die Verfahren zur Durchführung von Flugsicherungsbetriebsdiensten für Luftfahrzeuge mit ACAS sind die gleichen wie für Luftfahrzeuge ohne ACAS.
- (...), entsprechen den normalen Flugsicherungsverfahren und dürfen die von der ACAS-Ausrüstung abhängigen Fähigkeiten des Luftfahrzeugs nicht einbeziehen.

Die schnellste und damit effektivste Ausweichbewegung ist zunächst immer die vertikale, weil ausreichende Kurven deutlich mehr Zeit in Anspruch nehmen. Sind beide beteiligten Flugzeuge mit TCAS ausgerüstet, werden die Ausweichempfehlungen von den Systemen automatisch koordiniert. So wird von technischer Seite sichergestellt, dass die Flugzeuge in unterschiedliche Richtungen ausweichen.

Zur Darstellung von möglichen Intrudern benötigt TCAS deren Transponder - Signale. Voraussetzung für eine TA ist, dass alle beteiligten Flugzeuge einen Transponder besitzen und diesen auch betreiben. Luftfahrzeuge ohne Transponder werden vom System nicht erkannt. Für Flugzeuge mit Transponder ohne Höhenangaben wird nur eine Traffic Advisory ausgegeben. Erst Mode S - Transponder ermöglichen, Resolution Advisories zwischen den TCAS - Systemen der am möglichen Konflikt beteiligten Luftfahrzeuge zu koordinieren.

Das System ist ein Warn-, nicht ein Steuerungssystem. Die Ausweichbewegung selbst muss in jedem Fall vom Piloten durchgeführt werden. Hier ist den Piloten das strikte Befolgen einer Resolution Advisory vorgeschrieben (s.o.). Ausnahme: Sie können klar verifizieren, dass keine Kollisionsgefahr besteht. Sobald eine Resolution Advisory gegeben wird, muss innerhalb von fünf Sekunden den Anweisungen des Systems gefolgt werden. Danach ist ATC über die vorgenommene Ausweichbewegung zu informieren, um eventuell drohende Staffelungsprobleme koordinieren zu können.

Aus den technischen Gegebenheiten ergibt sich jedoch auch ein Dilemma: Bereits bei der Reichweite von 20 NM (neuere Geräte reichen bis zu 60 NM) sind oft eine Unmenge 'Intruder' in Reichweite, die überhaupt keine Bedrohung darstellen, aber das Display mit Signalen überziehen. Um diesen Umstand wissend, verringert sich naturgemäß die Aufmerksamkeit des Piloten auf das TCAS.

Daraus wird deutlich, dass das TCAS in jedem Fall nur unterstützend wirken kann; die Kontrolle und Organisation der Flugbewegungen durch Bodenradar kann – besonders im Fernfeld – nicht durch TCAS ersetzt werden. Laut NfL II-30/03 ist ACAS das „letztinstanzliche Sicherheitssystem“.

7.2.3. Marktübersicht Instrumente

Bei den auf dem Markt erhältlichen Geräten (Transpondern) muss man verschiedene Gruppen unterscheiden. Auf der einen Seite sind die „High-End“-Geräte. Ein Beispiel ist das von der Firma „Rockwell Collins“ angebotene TDR-94D. Dieses Gerät liegt preislich bei ca. 30.000 €. Das System zeichnet sich durch verschiedene Funktionalitäten aus:

- Mode A, C und S
- Möglichkeit einer Datenverbindungen zu einem TCAS II - System (entspricht RTCA DO185 Change 7.0 [24])
- 2 Antennen („diversity-installation“, vorgeschrieben für TCAS II): eine Antenne wird oben auf, die andere unterm Flugzeug montiert; somit ist eine ständige Sichtverbindung zu einem anderen Sender garantiert
- ADS-B fähig

Diese Geräte sind preislich nicht für Flugzeuge der Allgemeinen Luftfahrt geeignet. Eine zweite Gruppe von Transpondern, die Mode S fähig sind, bewegt sich zwischen ca. 2.000 € bis ca. 5.000 € (siehe Tabelle 7).

Modell	Modi	Preis
Garmin GTX 330/330D	A/C + S	ca. 4.800 €
Filser TRT800 & TRT800A	A/C + S	ca. 3.500 €
Filser TRT600	A/C + S	ca. 2.900 €
Garrecht Transpondersystem VT-01 (Vorankündigung Januar 2004 mit Angabe eines Zielpreises)	A/C + S	ca. 2.100 €
Becker ATC-4401 - General Aviation	A/C	ca. 2.400 €
Bendix / King KT76A	A/C	ca. 1.800 €

Tabelle 7: Preisauflistung verschiedener Transponder (Stand: Januar 2004)

Alle Preise bis auf einen sind gültigen Preislisten der Hersteller bzw. von Zwischenhändlern entnommen. Die Ausnahme bildet der Preis des Garrecht Transpondersystems VT-01. Hier war nur eine Zielpreisvorstellung des Herstellers zu bekommen.

Bei dieser Auflistung erfüllt einzig das Gerät Filser TRT600 den LAST-Standard [25]. Dieser „Light Aviation SSR Transponder“ (LAST)-Standard ist primär für den Einsatz in Kleinflugzeugen und Luftsportgeräten gedacht. Transponder, die nach diesem Standard zugelassen sind, dürfen nur in Luftfahrzeugen betrieben werden, die unter anderem die in Tabelle 8 aufgeführten Randbedingungen erfüllen.

Die Einteilung bzw. Zulassung der Transponder erfolgt aufgrund einer europäischen Zulassungsrichtlinie (ETSO C112B). In diesem rechtsverbindlichen Dokument wird auf das Dokument EUROCAE ED73B (ELS) verwiesen, in dem die technischen Voraussetzungen für Transponder festgelegt sind. Diese Voraussetzungen lehnen sich an die Spezifikationen der ICAO an, die im Annex 10 Amendment 77 [34] festgehalten wurden. ETSO C112B unterscheidet weiterhin zwei Klassen. Transponder, die als Class 2 Geräte zugelassen werden, unterliegen analog zu den LAST-Transpondern den in Tabelle 8 aufgeführten Einschränkungen.

Maximale Einsatzhöhe:	15.000 ft
Maximale Einsatzgeschwindigkeit:	175 kt
Sendeleistung am Antennenfuss:	75 Watt

Tabelle 8: Einschränkungen der Betriebsbedingungen von Mode S - Transponder, die nach EUROCAE ED115 (LAST) bzw. EUROCAE ED37B (ELS), Class 2, zugelassen sind

Auf der Internet-Homepage der Fa. Filser findet sich noch folgende Erklärung:

„Die Vorschriften EUROCAE ED115 (LAST) und EUROCAE ED73B (ELS) unterscheiden sich in nur wenigen Punkten. Die Definitionen der Transponderklassen und -Levels unterscheiden sich nur insofern als ein LAST-Transponder nie Class 1 erreichen kann (Class 1: unter anderem Ausgangsleistung von 126 Watt, Class 2: 71 Watt jeweils am Antennenfuss gemessen gemäß Punkt 1.4.2.4 ED73B/ED115). Level 2 (Comm A/B-Fähigkeit) kann dagegen sehr wohl erreicht werden und ist zusammen mit der SI-Fähigkeit (Level 2s) sogar Voraussetzung für den Betrieb gemäß AIC IFR6 und 7 (gemäß Punkt 1.4.2.1). Nicht gefordert für einen LAST-Transponder sind Antenna diversity (2 Antennen für TCAS gemäß 1.4.2.5) und ACAS-Communication (gemäß 1.4.2.7). Außerdem wurden Erleichterungen in den Bereichen Stromversorgung und Power Management gemacht. Das liegt in der Natur der Sache, da eine der Zielgruppen der Segelflug ist.
Ein LAST-Transponder darf nur in VFR-Flugzeugen unterhalb von 15000ft mit einer maximalen TAS von 175kt (324km/h) verwendet werden (Das gleiche gilt übrigens für einen ELS-Transponder Class 2, den es sehr wohl gibt. Nur ein ELS-Gerät Class 1, Level 2s oder höher kann darüber hinaus verwendet werden).“

8. Flugbetrieb

Das Ziel der Analyse „Flugbetrieb“ ist, die relevanten Vorschriften, Richtlinien und Verfahren für alle Bereiche der Luftfahrt in Deutschland zusammenzufassen und wiederzugeben. Hierzu zählen

- zivile und militärische Flugbewegungen
- private und gewerbliche Flugbewegungen
- Instrumenten- (IFR) und Sichtflug (VFR)

Die meisten Gesetze gelten für Verfahren, die alle Bereiche betreffen (z.B. Ausweichvorschriften), während sich die Vorschriften für z.B. Ausrüstungen erheblich für die verschiedenen Luftfahrzeuge unterscheiden.

Weiterhin wird in dieser Analyse ein Vergleich internationaler Vorschriften durchgeführt.

Generell ist zu beachten, dass im vorliegenden Kapitel die Punkte

- Erkennbarkeit
- Ausrüstung
- Verfahren

betrachtet werden.

Die zitierten Texte sind – soweit erforderlich - im Anhang aufgeführt

8.1. Erkennbarkeit

Unter diesem Begriff wird sowohl die passive (Lackierung) als auch die aktive Erkennbarkeit (z.B. Transponder) verstanden.

8.1.1. Passive Erkennbarkeit

Für Flugzeuge gibt es generell keine Empfehlung für eine Farbkennzeichnung; aber jedes Flugzeug muss prinzipiell über eine Zusammenstoßwarnleuchte verfügen. Für kleine Flugzeuge, die nicht mit einem geeigneten Bordnetz ausgerüstet sind, kann auf ein Zusammenstoßwarnlicht verzichtet werden, wenn entsprechende Farbmarkierungen angebracht sind und der Flugbetrieb auf Flüge bei Tage beschränkt wird.

Für Flüge in der Dämmerung (30 Minuten vor Sonnenaufgang bis zum Sonnenaufgang; von Sonnenuntergang bis 30 Minuten nach Sonnenuntergang) und bei Nacht sind Positionsleuchten (links rot, rechts grün, hinten weiß) zwingend vorgeschrieben.

In den Nachrichten für Luftfahrer (NfL) II-70/79 [26] wurde erstmals die Verwendung von Farbkennzeichnungen an Segelflugzeuge in Frage gestellt, und zwar ob a) Farbkennzeichnungen überhaupt ihren Zweck erfüllen und ob b) Strukturprobleme bei Faserverbundwerkstoffen durch Temperaturerhöhungen auftreten.

Mit der NfL II-26/83 [16] wurde dann für (hell lackierte) Segelflugzeug die Verpflichtung einer Farbkennzeichnung aufgehoben. Der Einsatz der Segelflugzeuge ist auf Flüge am Tage beschränkt. Der Verzicht auf eine Farbkennzeichnung wurde mit der Empfindlichkeit der verwendeten Verbundwerkstoffe gegenüber Temperaturerhöhungen durch Sonnenstrahlung auf die (rot) lackierten Flächen begründet.

8.1.2. Aktive Erkennbarkeit

Zur aktiven Erkennbarkeit zählen elektronische Systeme, die dem Kollisionsschutz dienen. Das „Airborne Collision Avoidance System“ (ACAS) wird in Kapitel 7.1.1. bereits erklärt. An dieser Stelle werden nun die Transponder näher betrachtet.

Transponder generieren bei Abfrage durch das Bodenradar ein Signal, das von der Bodenantenne aufgenommen und dem Fluglotsen angezeigt wird. Durch Selektieren einzelner Flugzeuge über einen bestimmten Code („Squawk“) sowie durch die Übertragung der Höheninformation ist eine Zuordnung bzw. Separation der Flugzeuge durch den Lotsen möglich. Des weiteren können Transponder von anderen Flugzeugen „abgefragt“ werden, wenn diese mit einem ACAS (siehe Kapitel 6.2.2) ausgerüstet sind.

Im folgenden ist die aktuelle (Stand November 2003) bzw. die geplante Ausrüstungssituation mit Transpondern wiedergegeben.

Laut Verordnung über die Flugsicherungs-ausrüstung (FSAV) [21] müssen Flugzeuge, Drehflügler, Motorsegler, Segelflugzeuge, Luftschiffe und Freiballone, die in Lufträumen mit vorgeschriebener Transponderausrüstung (Transponder Mandatory Zone - TMZ) fliegen, mit einem Transponder ausgerüstet sein.

Bislang müssen alle motorgetriebenen Luftfahrzeuge in folgenden Gebieten über einen Transponder verfügen:

1. in Lufträumen der Klasse C;
2. oberhalb 5000 Fuß über NN oder oberhalb einer Höhe von 3500 Fuß über Grund, wobei jeweils der höhere Wert maßgebend ist;
3. bei Nacht im kontrollierten Luftraum.

Laut Auskunft des Luftfahrt-Bundesamtes bleibt diese Aussage auch in der neuesten Version der FSAV (Ende 2003) nahezu unverändert; die Transponderpflicht wird lediglich noch auf den Luftraum D (nicht Kontrollzone) erweitert.

Die Verpflichtung zur Ausrüstung mit Mode S - Transpondern gilt für alle IFR-Flugbewegungen ab 2005. Spätestens ab 2008 ist für alle anderen Luftfahrzeuge, die mit Transpondern ausgerüstet sein müssen, ebenfalls ein Mode S - Transponder vorgeschrieben.

- **Luftraumstruktur**

Von den von der ICAO vorgesehenen Lufträumen (A bis G) sind in Deutschland nur die Lufträume C bis G vorhanden (siehe Abbildung 14). Die Lufträume unterscheiden sich durch die erforderlichen Wetterbedingungen, Ausrüstungsanforderungen, erforderlichen Freigaben und durchgeführten Staffellungen (siehe Tabelle 9).

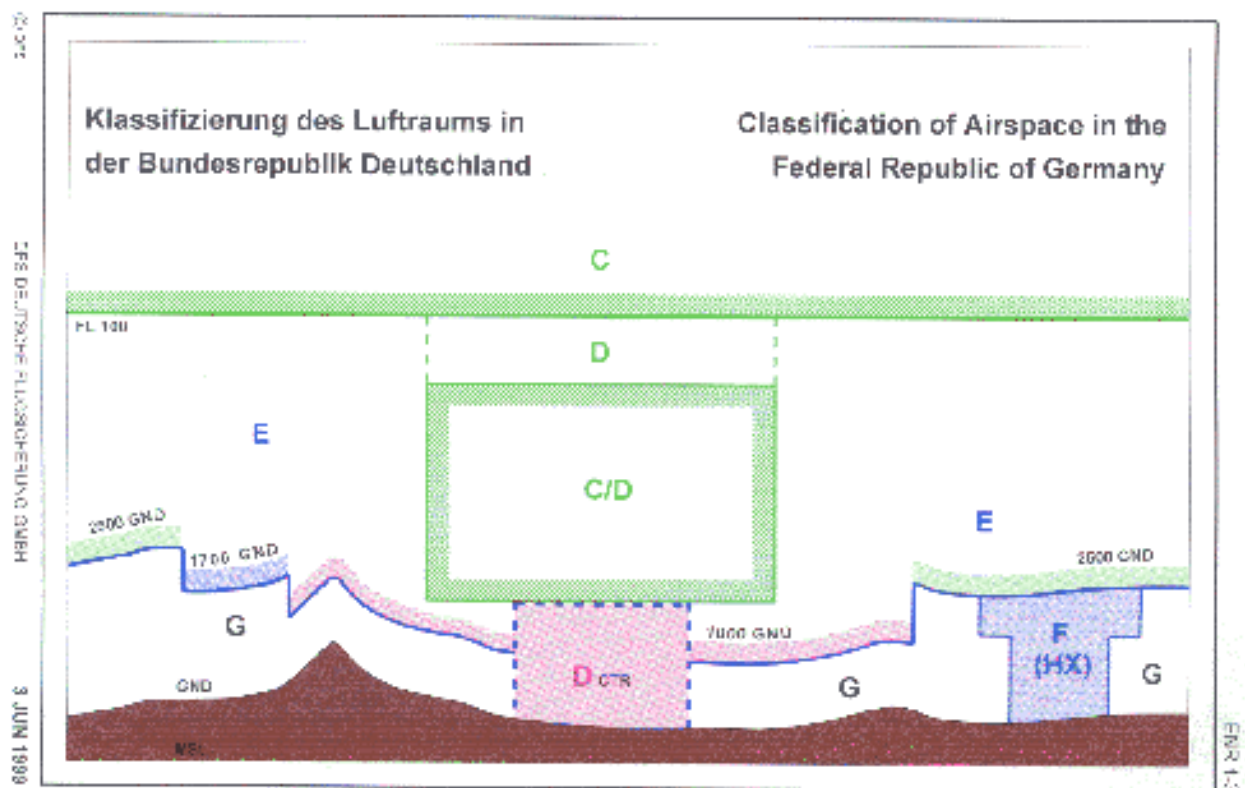


Abb. 14: Grafische Darstellung der Lufträume in der Bundesrepublik Deutschland (Quelle: DFS)

BEKLAS – Abschlussbericht

		Kontrollierter Luftraum			Unkontrollierter Luftraum	
		C	D	E	F	G
Staffelung		VFR von IFR	entfällt			
Dienst		Flugverkehrskontrolle, Verkehrsinformation VFR-Flüge	Verkehrsinformation über IFR-Flüge (Ausweichempfehlung auf Anfrage), Verkehrsinformation VFR-Flüge	Verkehrsinformation soweit möglich	Fluginformationsdienst	
Minimale Sichtflugbedingungen	Flugsicht	8 km (über FL 100) 5 km (unter FL 100)		8 km	8 km (über FL 100) 5 km (unter FL 100)	1,5 km (Flugzeuge) 800 m (Ballone, Luftschiffe, Helikopter)
	Wolkenabstand	1.000 ft vertikal 1.500 m horizontal				Frei von Wolken
Geschwindigkeitsbeschränkung		250 KIAS (unter FL 100)				
Sprechfunkverkehr		Dauernde Hörbereitschaft		Nicht erforderlich		
Flugverkehrskontrollfreigabe		Erforderlich		Nur für Nacht-VFR ausserhalb Flugplatzbereich		
KIAS: angezeigte Fluggeschwindigkeit in Knoten (Knots Indicated Airspeed)						

Tabelle 9: Mindestbedingungen für die Nutzung der Lufträume in der Bundesrepublik Deutschland

Zusätzlich gilt für Luftraum D (nicht Kontrollzone) (NfL I-43/00) [27]:

- Die Erteilung einer Flugverkehrskontrollfreigabe für motorgetriebene Luftfahrzeuge zum Einflug in den Luftraum D (nicht Kontrollzone) wird grundsätzlich von der Schaltung eines Sekundärradar-Antwortgerätes (Transponder) abhängig gemacht. Der Transponder muss für den Abfragemodus A mit 4096 Antwortcodes und für den Abfragemodus C mit automatischer Höhenübermittlung ausgestattet sein oder Mode S -Technik verwenden.
- In Ausnahmefällen können Freigaben auch erteilt werden, wenn Luftfahrzeuge nicht mit der in der FSAV für Flüge nach Sichtflugregeln vorgeschriebenen funktionstüchtigen Flugsicherungs-ausrüstung ausgestattet sind.
- (...) Die Voraussetzungen zur Erteilung von Flugverkehrskontrollfreigaben für Segelflüge im Luftraum D (nicht Kontrollzone) sind/werden in einer gesonderter NfL I bekannt gemacht bzw. in örtlichen Absprachen geregelt.

Zusätzlich gilt für Sonder-VFR-Flüge in Kontrollzonen (NfL I-223/98) [28]:

- 1.) Eine Flugverkehrskontrollfreigabe für einen Sonder-VFR-Flug wird von der Flugverkehrskontrollstelle nur dann erteilt, wenn
 - a) die Verkehrsverhältnisse es zulassen
 - b) die Bodensicht nicht unter 1500 m, für Hubschrauber nicht unter 800 m, liegt,
 - c) die Hauptwolkenuntergrenze mindestens 500 ft beträgt.
- ...
- 5.) Staffelung
Sonder-VFR-Flüge in Kontrollzonen werden voneinander und von IFR-Flügen gestaffelt.

Damit ist der folgende Verkehrsmix jetzt und auch weiterhin möglich:

- **Über Flugfläche (FL) 100** (Luftraum C; in den Alpen über FL 130) fliegen nur noch Luftfahrzeuge, die mit einem Transponder ausgerüstet sind; VFR- und IFR-Flugbetrieb ist nur nach Streckenfreigabe durch die Flugsicherung möglich; IFR-Flüge werden gestaffelt, VFR-Flüge bekommen Verkehrsinformationen bzw. Ausweichempfehlungen.
Weiter ist in der FSAV ein VOR-Empfänger für den Luftraum C für Flugzeuge, Drehflügler und Motorsegler vorgeschrieben.
- **Über 5.000 Fuß MSL bis FL 100** (generell Luftraum E, d.h. kontrollierter Luftraum; gebietsweise Luftraum C oder Luftraum D (nicht Kontrollzone)); es sind, je nach Wettersituation, verschiedene Szenarien möglich:
 - Wetter-Bedingungen, die keinen Sichtflug zulassen (Instrument Meteorological Conditions - IMC): es ist kein Sichtflug möglich; der gesamte Luftverkehr wird durch die Flugsicherung überwacht, gestaffelt und bewegt sich nur mit entsprechenden Freigaben in diesem Luftraum
 - Wetterbedingungen, die auch Sichtflug zulassen (Visual Meteorological Conditions - VMC): der IFR-Luftverkehr bewegt sich entsprechend den Freigaben der Flugsicherung. VFR-Verkehr kann vorkommen als „motorgetriebene Luftfahrzeuge“ mit Transponder, zum Teil in Kontakt mit der Flugsicherung (in Lufträumen C und D (nicht Kontrollzone) vorgeschrieben), zum Teil ohne Funkkontakt (siehe Tabelle 9); weiterhin Luftfahrzeuge (hauptsächlich Segelflug) in Luftraum E ohne Transponder und meis-

tens ohne Funkkontakt zur Flugsicherung. Die Höchstgeschwindigkeit ist auf 250 KIAS (Militär 575 KIAS) beschränkt.

- **Über 2.500 Fuß GND bis 5.000 Fuß MSL:** generell kontrollierter Luftraum (E, gebietsweise C oder D (nicht Kontrollzone)); hier ist der gleiche Mix wie über 5.000 Fuß möglich; zusätzlich sind motorgetriebene Luftfahrzeuge ohne Transponder bei VMC-Bedingungen in diesem Bereich vorhanden. Höchstgeschwindigkeit zivil 250 KIAS (Militär 575 KIAS)
- **Unter 2.500 Fuß GND:** hier ist Luftraum G, d.h. unkontrollierter Luftraum vorhanden. Ausnahmen bilden die Gebiete um Flughäfen mit Kontrollzone (hier ist Luftraum D vorhanden sowie zum Teil abgesenkte Untergrenzen des Luftraumes E); IFR-Flugverkehr findet hier normalerweise nicht statt (Ausnahme sind die An- und Abflüge an Flughäfen, die mit Luftraum F ausgestattet sind – Luftraum F ist unkontrollierter Luftraum). In diesem Luftraum bewegt sich ein Großteil des militärischen Flugbetriebs sowie alle VFR-Flüge, wenn die Sichtflugbedingungen für den kontrollierten Luftraum nicht vorhanden sind. Transponderpflicht ist nicht gegeben. Höchstgeschwindigkeit zivil ebenfalls 250 KIAS, Militär 575 KIAS.

Durch die Einführung des Mode S - Transponders ändert sich (s. oben) an dieser Situation nichts; im wesentlichen ist auch weiter ein Betrieb von Luftfahrzeugen unter 5.000 Fuß ohne Transponder sowie von Segelflugzeugen bis FL 100 ohne Transponder möglich.

Laut Auskunft LBA vom 29.8.2003 gibt es keine Zahlen über die Ausrüstung der kleinen Flugzeuge und Motorsegler mit Transpondern; d.h. es ist nicht bekannt, wie viele motorgetriebene Luftfahrzeuge ohne Transponder fliegen; – für diese ist – wenn sie die entsprechenden Lufträume meiden – auch nach 2008 kein Transponder/Mode S erforderlich.

Aus dieser Struktur ergeben sich die nachstehenden Folgerungen:

Im kontrollierten Luftraum ist – bei entsprechenden Wetterbedingungen – ein Mix von kontrollierten und mit einer Streckenfreigabe versehenen IFR-Flügen und unkontrollierten Sichtflügen möglich; in diesem Fall greifen die geltenden Ausweichregeln (LuftVO §13) [29] siehe 8.1.3). Es hat also z.B. ein IFR-fliegender Flugzeug einem von rechts kommenden VFR-Flugzeug auszuweichen. Eine Verkehrsinformation durch den Fluglotsen wird nur „soweit möglich“ erteilt. Weiterhin haben Segelflugzeuge laut den Ausweichregeln (siehe Kap. 8.1.3) generell Vorflugrecht, auch gegenüber IFR-Flugbetrieb. Dieser Zusammenhang ist vielen IFR-Piloten nicht (mehr?) bekannt. Zusätzlich ist die „head down time“ beim IFR-Fliegen groß, so dass – neben der Unkenntnis über die Ausweichregeln – dadurch eine weitere Gefährdung gegeben ist.

Des weiteren ist den meisten Piloten unbekannt, dass in einer Kontrollzone nur der IFR-Verkehr gestaffelt wird; VFR-Flüge werden untereinander nicht gestaffelt, es werden lediglich Verkehrsinformationen erteilt.

8.1.3. Ausweichregeln

Im Anhang sind die Sichtflugregeln / Ausweichregeln zusammengestellt für

- Deutschland
- Schweiz
- Österreich
- Tschechische Republik
- ICAO
- Militärische AIP (Aeronautical Information for Pilots)
- Deutsche Segelflugsbetriebsordnung (SBO)

Unterschiede in den Auslegungen zwischen den einzelnen Ländern sind gering, aber vorhanden.

Generell gilt:

- Alle Regeln für den Sichtflug basieren auf ICAO-Annex 2
- Alle Ausweichregeln beruhen auf dem Prinzip: Sehen und gesehen werden
- Auch der „Vorflug“-berechtigte Pilot ist verpflichtet, zur Vermeidung von Kollisionen anderen Luftfahrzeugen auszuweichen
- Es gibt keine internationalen Vorschriften für die Einrichtung von zusätzlicher Systemen, die das Kollisionsrisiko im Sichtflug vermindern

Ein Vergleich untereinander ergibt nur wenige jedoch durchaus erwähnenswerte Unterschiede:

z.B. Tschechische Republik: die Höchstgeschwindigkeit im unkontrollierten Luftraum hängt von der Sichtweite ab (ab 5 km Sichtweite 500 km/h = ca. 250 kts, bei 1,5 km Sichtweite nur 150km/h = ca. 80 kts); In Deutschland gilt generell 250 kts für Zivil- bzw. 575 kts für Militärflugzeuge.

z.B. Schweiz: beim Anflug eines Flugplatzes muss generell mindestens eine halbe Platzrunde geflogen werden; In Deutschland existiert keine vergleichbare Regel.

z.B. Schweiz: ein Segelflugzeug hat einem im Aufwind kreisenden anderen Segelflugzeug nach rechts auszuweichen; In Deutschland existiert keine vergleichbare Regel.

Überall gilt die folgende „Vorflugreihenfolge“:

1. Ballone
2. Segelflugzeuge, (Hängegleiter, Gleitsegel)
3. Luftschiffe
4. Luftfahrzeuge mit Schleppanhänger
5. Motorgetriebene Luftfahrzeuge

Das motorgetriebene Luftfahrzeug also muss allen anderen Luftfahrzeugen ausweichen, während das Segelflugzeug nur dem Ballon auszuweichen hat.

Das nicht ausweichpflichtige Luftfahrzeug darf seinen Kurs und seine Geschwindigkeit nicht ändern. Weiterhin hat ein Luftfahrzeug einem anderen Luftfahrzeug, das erkennbar in seiner Manövrierfähigkeit behindert ist, auszuweichen.

8.1.4. TCAS/ACAS

Hinter der in den USA gebrauchten Bezeichnung TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System) verbergen sich Geräte zur Verbesserung des Kollisionsschutzes bei Flugzeugen (siehe auch Kapitel 7.2.2). Diese Geräte entsprechen dem von der ICAO verabschiedeten ACAS (Airborne Collision Avoidance System) - Standard. Hierbei werden die folgenden 3 Kategorien unterschieden:

- ACAS I informiert den Piloten über andere in der Nähe befindliche Luftfahrzeuge (die mit einem Transponder ausgerüstet sind)
- ACAS II erzeugt Ausweichempfehlungen in der Vertikalebene (Höhenänderungen)
- ACAS III wird nach seiner Einführung auch Kursänderungen als Ausweichempfehlung geben

Laut FSAV §3, Absatz (1) [21] gilt für die Flugsicherungs-ausrüstung für Flüge nach Instrumentenflugregeln:

- Für Flüge nach Instrumentenflugregeln müssen Luftfahrzeuge ausgerüstet sein mit:
 - (...)
 - einem Kollisionswarnsystem (Airborn Collision Avoidance System – ACAS); die Ausrüstungspflicht wird wirksam ab 1. Januar 2000 für Flugzeuge mit mehr als 30 Sitzplätzen oder mit einer höchstzulässigen Startmasse von mehr als 15.000 kg sowie ab 1. Januar 2005 für Flugzeuge mit mehr als 19 Sitzplätzen oder mit einer höchstzulässigen Startmasse von mehr als 5.700 kg.

Laut NfL II-30/03 [23] ist der vom ACAS erzeugten Ausweichempfehlung zu folgen, auch wenn sie der Freigabe des Lotsen widersprechen sollte.

ACAS reagiert nur auf Transpondersignale (sowohl auf Mode A/C als auch auf Mode S); d.h. nicht ausgerüstete Luftfahrzeuge werden nicht erkannt und es kann somit auch keine Ausweichempfehlung generiert werden. Damit ist also auch eine Warnung vor anderen, im kontrollierten Luftraum durchaus vorhandenen und nicht mit Transpondern ausgerüsteten Luftfahrzeugen (z.B. Segelflugzeugen), nicht möglich.

8.2. Militärischer Flugbetrieb

Im Rahmen des Projektes wurde ein Besuch beim Jagdbombergeschwader 38 „Friesland“ in Jever durchgeführt. Die hier gewonnenen Informationen sind im folgenden wiedergegeben, dabei wird zunächst der militärische Flugbetrieb mit dem Waffensystem Tornado erläutert und im Anschluss daran die Ausrüstung dieses Luftfahrzeuges, soweit sie das Projekt betrifft, näher beschrieben.

Der militärische Flugbetrieb mit weiteren Flugzeugmustern, wie z.B. der F-4F „Phantom“, MiG-29 oder dem EF2000 Eurofighter, wurde aus verschiedenen Gründen nicht im Detail beleuchtet, obwohl die Sichtverhältnisse gerade aus der F-4F konstruktiv bedingt noch wesentlich schlechter als beim Tornado sind. Der Grund hierfür waren folgende Überlegungen:

- Das Einsatzprofil der F-4F „Phantom“ als Abfangjäger sieht in erster Linie keine Tiefflüge über dem Gebiet der Bundesrepublik vor;
- Die F-4F „Phantom“ befindet sich nach über 30 Dienstjahren bereits in der Phase der Ausmusterung;
- Auch die wesentlich modernere MiG-29 wird im Rahmen der Umrüstung auf den EF2000 Eurofighter außer Dienst gestellt;
- Zum Einsatzmuster EF2000 gibt es noch keine ausreichend gesicherten Erfahrungswerte einer nennenswerten Anzahl von Piloten, außerdem gelten die Sichtbedingungen aus diesem Luftfahrzeugmuster als außergewöhnlich gut. Die Rolle des Eurofighters liegt darüber hinaus primär in der Sicherung der Luftüberlegenheit, umfangreicher Tiefflugeinsatz ist aus heutiger Sicht mit diesem Muster (noch) nicht zu erwarten.
- Weiterhin werden von der Bundeswehr (sowohl beim Heer als auch bei der Luftwaffe) weitere Luftfahrzeuge eingesetzt. Dies sind sowohl Hubschrauber als auch Großraum-Transportflugzeuge (z.B. C-160 „Transall“). Diese Luftfahrzeuge wurden zum einen aufgrund ihres Einsatzspektrums im Rahmen dieser Studie nicht näher betrachtet, zum anderen liegen die Fluggeschwindigkeiten, mit denen diese Luftfahrzeugmuster operieren, deutlich unter denen der Strahlflugzeuge. Das Waffensystem Tornado wird nach der derzeitigen Luftwaffenstruktur (Stand 2003) noch etliche Jahre im Einsatz bleiben, wenn auch in verringerter Stückzahl.
- Aus Ressourcengründen konnte nur ein militärischer Fliegerhorst besucht werden, zudem waren bei Besuch eines weiteren Fliegerhorsts keine wesentlichen neuen Erkenntnisse zu erwarten.

Der militärische Flugbetrieb wird auf einem sehr hohen, professionellen Niveau durchgeführt. So gehört zur Flugvorbereitung die eingehende Studie aller aktuell gültigen NOTAMs (Notice to Airmen) im Selbststudium. Bei der individuellen Flugplanung der Besatzungen werden diese Informationen berücksichtigt. Zudem werden alle Luftfahrzeugbesatzungen in einem standardisierten gemeinsamen Briefing über den geplanten Tagesflugbetrieb und die vorgesehenen Flugaufträge unterrichtet, bei dem u.a. auch alle relevanten NOTAMs angesprochen werden.

Die Anzahl der militärischen Flugbewegungen und insbesondere die Einsätze in Tiefflug wurden seit dem Ende des kalten Krieges drastisch reduziert. Zum einen, da große Teile der alliierten Streitkräfte inzwischen abgezogen wurden, zum anderen, da gerade die lärmintensive Tief- bzw. Tiefstflugausbildung in praktisch menschenleere ausländische Übungsgelände verlagert wurde.

8.2.1. Militärischer Flugbetrieb mit dem Waffensystem Tornado

Die Pilotenausbildung in der Bundeswehr ist ein mehrere Jahre dauernder Prozess, der zu großen Teilen in den USA durchgeführt wird. Während die Anfangsausbildung für die Tornado-Besatzungen im Ausland stattfindet, wird in den in Deutschland stationierten Verbänden vor allem die Gewöhnung an europäische Gegebenheiten und die Vervollständigung der Ausbildung zum einsatzfähigen Piloten durchgeführt.

Zu diesem Zweck werden Tiefflüge über dem Gebiet der Bundesrepublik durchgeführt, allerdings wurde die Mindestflughöhe grundsätzlich auf 1.000 ft über Grund angehoben, um die Lärmbelästigung zu reduzieren. In streng reglementierten Fällen ist auch ein Tiefflugeinsatz in 500 ft über Grund möglich. Dabei muss eine minimale Flugsicht von 5 km gegeben sein. Die geplante Geschwindigkeit über Grund beträgt normalerweise ca. 400 Knoten, die maximale Geschwindigkeit bei Tiefflügen ist auf 450 Knoten angezeigte Geschwindigkeit (KIAS) festgelegt. Bei Angriffsübungen werden in speziell ausgewiesenen militärischen Sperrgebieten Einsätze mit bis zu 540 KIAS geflogen.

Die Tiefflüge orientieren sich am Tag nicht an einem separat gekennzeichneten Tiefflugsystem, wie es bei Nacht der Fall ist. Die Flüge werden tagsüber aus Lärmgründen möglichst gleichmäßig über das Bundesgebiet verteilt. Große Ballungsgebiete (wie z.B. Frankfurt) werden weiträumig gemieden. Durch diese Ballungsräume ergibt sich jedoch ein Kanalisierungseffekt, der zwangsläufig an anderer Stelle zu Konzentrationen führt. Auch wird bei der Planung und Durchführung dieser Tiefflugübungen versucht, den Überflug von Fluggeländen zu vermeiden. Bei der Vielzahl von Flugplätzen ist dies jedoch nicht immer möglich.

Nächtliche Tiefflüge werden ebenfalls in 1.000 ft über Grund durchgeführt. Diese Flüge werden jedoch nach Instrumentenflugregeln geflogen, im Gegensatz zu den Tageinsätzen, die nach Sichtflugregeln durchgeführt werden.

Werden Überführungsflüge in Höhen unter Flugfläche (FL) 100 durchgeführt, wird mit einer Geschwindigkeit von 300 Knoten geflogen. Für die geltende Regel, dass unter FL 100 nur mit maximal 250 Knoten geflogen werden darf, gibt es für die Kampffjets eine Ausnahme, da diese mit 250 Knoten nur eingeschränkt manövrierfähig sind.

Im Übungsflugbetrieb stehen die Flugzeuge aus einsatztaktischen Gründen nicht kontinuierlich mit der Flugsicherung in Funkkontakt, bei Überführungsflügen dagegen wird der Funkkontakt ständig aufrecht erhalten.

Andere Luftfahrzeuge werden hauptsächlich visuell aufgefasst. Die Arbeitsteilung im Cockpit ist dabei fest vorgeschrieben: der Pilot im vorderen Sitz überwacht den vorderen Luftraum-Sektor, während der Waffensystemoffizier auf dem hinteren Sitz für die Bereich neben und hinter dem Flugzeug zuständig ist. Wird mit mehreren Flugzeugen

im Verband geflogen, wird die Aufgabe der visuellen Auffassung von Luftfahrzeugen zwischen den im Verband fliegenden Tornados noch weiter aufgeteilt. Dazu ist natürlich Voraussetzung, dass die Flugzeuge miteinander in ständigem Funkkontakt stehen.

Trainiert wird das visuelle Auffassen von anderen Luftfahrzeugen ständig, da es sowohl im zivilen Übungsbetrieb als auch in einem möglichen Kampfeinsatz überlebenswichtig ist.

8.2.2. Ausrüstung des Waffensystems Tornado

Das Radargerät des Tornado ist auf die Identifizierung von Bodenzielen optimiert. Ein Modus zur Erkennung von fliegenden Objekten ist verfügbar, besitzt aber aus den angegebenen Einsatzgründen verschiedene Einschränkungen. Für die Erkennung von kleinen, aus faserverstärkten Kunststoffen gebauten, Luftfahrzeugen ist das Bordradar jedoch nicht geeignet. Auch können damit keine Transpondersignale detektiert werden. Der Einsatz des Radars ist außerdem missionsphasenabhängig, d.h. es ist nicht die gesamte Flugzeit eingeschaltet. Das Radargerät wird vom Waffensystemoffizier bedient. Dieser ist weiterhin für die Navigation und Bedienung der Waffenanlage zuständig. Das Waffensystem Tornado besitzt zusätzlich einen sogenannten Radarwarnempfänger. Dieses Gerät dient in erster Linie dazu, die Besatzung zu warnen, wenn das Flugzeug von einem feindlichen Radar aufgefasst worden ist. Diese Warnempfänger sind während der gesamten Flugzeit eingeschaltet. Die Technik unterliegt jedoch der Geheimhaltung.

8.3. Flugsicherung über dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland

8.3.1. Aufgaben und Ausrüstung der zivilen Flugsicherung

Die Aufgaben der zivilen Flugsicherung werden von der Deutschen Flugsicherung GmbH (DFS) wahrgenommen, sie sind im Luftverkehrsgesetz [30] und den entsprechenden Verordnungen geregelt. Die Flugsicherungsaufgaben umfassen vor allem die Verkehrslenkung (Flugverkehrskontrolle) sowie die Entgegennahme, Bearbeitung und Weiterleitung von Flugplänen. Die DFS ist außerdem für die Planung, Errichtung und Inbetriebhaltung aller für diese Zwecke notwendigen technischen Einrichtungen und der Funknavigationsanlagen für Luftverkehrsteilnehmer zuständig. Darüber hinaus hat die DFS am 1. Februar 1994 die Aufgaben der überörtlichen militärischen Flugsicherung übernommen.

Die Flugverkehrskontrolle lässt sich in die drei Unterbereiche Tower, Approach Control und Area Control unterteilen.

- **Tower:** In diesen weithin sichtbaren Türmen sitzt hoch über dem Flughafen die Platzkontrolle. Die Towerlotsen koordinieren per Sprechfunk den Flugverkehr auf den Start- und Landebahnen sowie in unmittelbarer Flughafennähe. Meist sind

sie mit den Maschinen in Sichtkontakt. Auf der Towerfrequenz erteilen sie den Cockpit-Crews die nötigen Freigaben.

- **Approach Control:** Nach dem Start und vor der Landung übernimmt Approach Control (An- und Abflugkontrolle) die Flugbetreuung. Sie leitet den Abflug (Departure) bis zu einer vorgegebenen Höhe und den Anflug (Arrival) bis zur Übergabe an den Tower. Computergestützte Anlagen helfen den Fluglotsen an stark frequentierten Flughäfen, den Andrang zu bewältigen.
- **Area Control:** Noch während des Steigflugs wechselt der Pilot auf Anweisung der Approach Control die Funkfrequenz. Die Positionsmeldung des Flugzeugführers geht jetzt an Area Control (Bezirkskontrolle). Auf Strecke durchquert das Flugzeug mehrere dieser Kontrollsektoren, immer geleitet durch die Fluglotsen des jeweiligen Bezirks. Mit Hilfe von Funkfeuern und modernen bodenunabhängigen Navigationssystemen hält das Flugzeug seinen Kurs. Verlässt ein Pilot unberechtigter Weise die zugewiesene Strecke, wird er aufgefordert, seinen alten Kurs wieder aufzunehmen.

Im Gegensatz zu den Fluglotsen im Tower arbeiten Approach- und Area Control ohne Sichtkontakt zu den Flugzeugen. Sie sitzen in den Kontrollzentralen vor ihren Radarschirmen. Ihre Arbeitsinstrumente sind Telekommunikations- und Radaranlagen.

Neben der angeführten Flugverkehrskontrolle steht den Teilnehmern am Luftverkehr auch der Fluginformationsdienst zur Verfügung. Dieser erteilt in den Lufträumen F und G lediglich allgemeine Informationen. Im Luftraum E werden, soweit es die Arbeitsbelastung des Lotsen zulässt, auch Verkehrsinformationen gegeben. Es findet jedoch keine Steuerung des Verkehrs oder gar eine Staffelung des VFR-Verkehrs statt.

8.3.2. Aufgaben und Ausrüstung der militärischen Flugsicherung

Die Flugsicherung teilt sich auf in die Kontrolle der Fliegerhorste auf der einen Seite und die Streckenkontrolle auf der anderen Seite. Bei der Streckenkontrolle arbeiten militärische Lotsen gemeinsam mit den zivilen Lotsen der deutschen Flugsicherung (DFS) an ein und demselben Arbeitsplatz. Die Fliegerhorste werden dagegen rein militärisch kontrolliert. Die Ausrüstung besteht am von uns besuchten Fliegerhorst in Upjevo aus einem Bereichsradar älterer Bauart sowie einem Präzisions-Anflug-Radar (sowohl lateral als auch horizontal). Für den Bereich der Erkennung von Luftverkehr ist das Bereichsradar von Bedeutung. Das Präzisions-Anflug-Radar dient dazu, den Flugzeugen auch bei schlechten Wetterbedingungen einen Anflug mit anschließender Landung zu ermöglichen.

Das Bereichsradar ist konventionell aufgebaut, d.h. die von der Radarantenne aufgefangenen Strahlen werden direkt auf einer Kathodenstrahlröhre dargestellt, es findet keine rechnergestützte Vorfilterung oder Aufbereitung der Signale statt. Weiterhin ist es sehr mühsam, die Höhen und Transponderkennungen der dargestellten Symbole auszulesen. Das bedeutet, dass bei sehr hohem Verkehrsaufkommen nicht alle Flugzeuge per Radar aufgefasst und vom Lotsen exakt (d.h. mit der jeweiligen Flughöhe) identifiziert werden können.

Geplant ist, dass die Radaranlagen bis zum Jahr 2008 erneuert werden, so dass dann auch Mode S - Transponder entsprechend empfangen und decodiert werden können. Aus den erwähnten technischen Gründen würde die militärische Flugsicherung an einem Fliegerhorst es sehr begrüßen, wenn sich Luftfahrzeuge, die eine militärische Kontrollzone über- oder knapp umfliegen, auf den entsprechenden Tower-Frequenzen melden würden. Damit wären diese Bewegungen bekannt und der militärische Flugbetrieb könnte im Sinne einer Konfliktvermeidung besser koordiniert werden.

9. Erforschung von Maßnahmen

Dem Bereich „Erforschung von Maßnahmen“ sind die Arbeitspakete:

- Faktor Mensch
- Zukünftige Technik und Instrumente
- Flugbetriebliche Maßnahmen
- Möglichkeiten der Realisierung

zugeordnet. Hier werden Vorschläge erarbeitet, wie das Kollisionsrisiko in Zukunft reduziert werden kann.

Die entsprechenden Maßnahmen werden dabei folgendermaßen unterteilt:

- Maßnahmen und Möglichkeiten am Luftfahrzeug
- Maßnahmen und Möglichkeiten in der Schulung der Piloten
- Maßnahmen und Möglichkeiten im operativen Betrieb
- Allgemeine Hinweise
- Zusammenfassung

Die Untersuchungen im Laufe des Projektes haben gezeigt, dass es kein „Allheilmittel“ für das vorliegende Problem der besseren Erkennbarkeit gibt. Maßnahmen, die für eine Gruppe von Luftverkehrsteilnehmern als Möglichkeit aufgeführt werden, können für eine andere Gruppe nicht anwendbar sein oder werden längst angewendet. Als Beispiel sei hier die Schulung der „situational awareness“ genannt, die beim militärischen Flugpersonal ständig (d.h. nicht nur während der Ausbildung, sondern auch in regelmäßigen Wiederholungen nach Erhalt der Lizenz) gelehrt und trainiert wird, während man bei Segelfliegern bislang meist vergeblich nach entsprechenden Unterrichtsinhalten oder Fortbildungsveranstaltungen sucht.

9.1. Maßnahmen und Möglichkeiten am Luftfahrzeug

Die folgenden Unterkapitel zeigen Möglichkeiten auf, wie Luftfahrzeuge für andere Verkehrsteilnehmer besser wahrgenommen werden. Hierbei unterscheiden sich zwei prinzipiell unterschiedliche Varianten.

1. Maßnahmen bzw. Umrüstungen, die ein Luftfahrzeug für andere Piloten besser erkennbar machen (im folgenden „Passive Maßnahmen“ genannt);
2. Maßnahmen bzw. Systeme, die selbständig oder in Kooperation mit weiteren Systemen gefährliche Annäherungen detektieren und die Piloten entsprechend warnen (im folgenden „Aktive Maßnahmen“ genannt).

9.1.1. Passive Maßnahmen

- **Warnlackierung und Strobelights**

Die Möglichkeiten, konstruktiv die Sichtbarkeit von Kleinflugzeugen, Segelflugzeugen, Ultraleichtflugzeugen zu verbessern, sind relativ gering.

Mit zunehmender Verbreitung von Faserverbundwerkstoffen im Flugzeugbau werden die Flugzeugkonstruktionen immer eleganter, so dass besonders im Segelflugzeugbau heute die Flugzeugsilhouette aufgrund der dünnen Flügelprofile vor allem von vorne und von hinten kaum noch zu erkennen ist.

Auffällige Warnlackierungen des gesamten Flugzeugs verbieten sich nach heutigem Kenntnisstand bei Flugzeugen in Faserverbundbauweise wegen der Gefahr der Aufheizung der Flugzeugstruktur und der daraus resultierenden Festigkeitsminderung.

Grundsätzlich sollten jedoch alle Möglichkeiten der besseren Erkennbarkeit eingesetzt werden. Hierbei kommt es wesentlich darauf an, den Kontrast eines Flugzeuges gegenüber seiner Umgebung zu erhöhen.

Bei motorgetriebenen Flugzeugen erreicht man die Kontrasterhöhung gegenüber der Hintergrundleuchtdichte heute üblicherweise durch Strobelights (Anti-Collision-Lights) mit hoher Leuchtdichte. Ihr Einsatz ist aber aufgrund des hohen Stromverbrauches nur in Flugzeugen mit entsprechender Stromversorgung möglich.

In Segelflugzeugen, mit nur geringer Batteriekapazität, können daher herkömmliche Strobelights nicht eingesetzt werden. Eine Möglichkeit wäre hier der Einsatz von LED-(Licht Emittierenden Dioden) Blitzern, z. B. in der Spitze von heute sehr verbreiteten Winglets oder in den Randbögen der Tragflächen. Diese LED-Blitze sollten jeweils in einem Winkel von 60° nach vorn und hinten abstrahlen, da dies die Hauptgefährdungsrichtung darstellt. Durch eine solche Beschränkung des Abstrahlwinkels kann eine Blendung und Irritierung der Piloten im Thermikkreisen vermieden werden. Die notwendigen Batterien könnten statt des jetzt üblichen Bleiballastes direkt in die Winglets eingebaut werden.

Im Gebirge wirken sich Gletscherfelder, Wolkenwände und Schneeereste allerdings so aus, dass es technisch unlösbar wird, auf optischem Gebiet überhaupt eine stärkere Lichtmenge oder höhere Leuchtdichte als die Umgebungsleuchtdichte emittieren zu können. Die Lichtmenge, die ein VFR - übliches Anti-Kollisionslicht lt. Bauvorschrift emittieren muss, wird mit 400 Candela angegeben (lt. JAR23.1401; bis 1971 war eine Lichtstärke von 100 Candela ausreichend). Dieses Anti-Kollisionslicht hätte im Hochgebirgsflug, vor einer Wolke oder im Gegenlicht wegen des stark strahlenden Hintergrunds keine protektive Wirkung.

- **Warnmarkierung durch Folien**

Rotfluoreszierende Folien sind besonders im Frühjahr, wenn noch große Schneefelder im Gebirge zu erwarten sind, auf Segelflugzeugen in Südfrankreich allgemein üblich und an manchen Flugplätzen sogar zu besseren Erkennbarkeit vorgeschrieben.

Wenn der Kontrast zwischen weißem Segelflugzeug und schneebedeckter Bodenfläche nahezu aufgehoben ist, machen diese Folien ein Segelflugzeug zumindest in der Nähe deutlich sichtbarer. Auf große Entfernungen, weiter als ca. 500 m, haben diese Folien allerdings keinen Effekt. Ebenso haben diese Folien keinen Effekt, wenn über einer Landschaft mit gemischtem Bewuchs geflogen wird.

- **Spiegelfolien auf Ruderflächen**

Die Oberflächen von Segelflugzeugen sind hochglanzpoliert und reflektieren dadurch einstrahlendes Sonnenlicht wie Spiegel. Daher versprechen Spiegelfolien bei diesen Luftfahrzeugen kaum einen Effekt. Werden die Spiegelfolien allerdings auf den Rudern der Flugzeuge angebracht, ist mit einer häufigeren Reflexion des einfallenden Sonnenlichts, sofern vorhanden, zu rechnen. Auch Luftfahrzeuge, die nicht hochglanzpoliert sind, können mit Hilfe dieser einfach anzubringenden Folien unter bestimmten Umgebungsbedingungen (Einfall von Sonnenstrahlen) besser aufgefasst werden.

- **Radarreflektoren**

Luftfahrzeuge aus Faserverbundwerkstoffen sind für Militärflugzeuge und auch für Radarlotsen meist nicht bzw. nur sehr schlecht erkennbar. Durch Einbau von leichten metallischen Radarreflektoren, z. B. in Seitenruder oder Winglets, könnte die Sichtbarkeit für Aktivradar am Boden oder in Militärflugzeugen unter Umständen verbessert werden. Allerdings muss einschränkend erwähnt werden, dass militärische Luftfahrzeuge im unteren Luftraum aus einsatztaktischen Gründen das Bordradar nicht kontinuierlich aktiviert haben und es zudem oftmals im sogenannten „Ground-Mapping-Mode“ (d.h. das Radar beobachtet den Erdboden) betreiben, weshalb andere Flugzeuge dann nicht geortet werden können.

- **Weitwinkelrückspiegel**

Weitwinkelrückspiegel aus dem KFZ - Zubehörhandel kosten ca. 5 € pro Stück. Segelflieger und Motorsegler bzw. alle Flugzeuge, die in Thermik aufwinden mit anderen Flugzeugen üblicherweise kreisen müssen, könnten mit Hilfe dieser Spiegel ihre Sichtmöglichkeiten nach schräg hinten verbessern. Damit könnten sich Kollisionen beim gemeinsamen Kreisen im Aufwind vermeiden lassen. Dabei muss jedoch darauf geachtet werden, dass nicht ein weiterer „Totraum“ (s. nächster Abschnitt) geschaffen wird.

- **Vermeidung sichteinschränkender Konstruktionselemente in Flugzeugcockpits**

Das Prinzip „Sehen und gesehen werden“ wird von vielen Konstrukteuren bei der Auslegung ihrer Flugzeugcockpits nicht immer berücksichtigt. So finden sich sowohl in älteren als auch in jüngeren Cockpit-Konstruktionen immer wieder Elemente, die die Außen-sicht stark einschränken.



Abb. 15: Sichteinschränkung durch nachgerüstete Elektronik im Segelflugzeug-Cockpit



Abb. 16: Sichteinschränkung durch Sonnenblenden in einem Motorflugzeug-Cockpit

Abdeckungen durch Mittel – und Seitenstreben in der Cockpitverglasung, ungeeignete Schirmmützen, undurchsichtige Sonnenblenden (siehe Anhang 2), nachgerüstete Instrumente an Cockpitstreben können besonders in älteren Flugzeugen immer wieder angetroffen werden. Diese erzeugen zum Teil erhebliche Abdeckungen im Gesichtsfeld

des Piloten, so dass der Pilot in speziellen Situationen chancenlos ist, ein sich auf Kollisionskurs befindliches Flugzeug rechtzeitig zu erkennen. Durch Bau – und Zulassungsvorschriften könnte bei allen Neuflugzeugen und allen Nachrüstungen in Altflugzeugen sichergestellt werden, dass es keine Außensichteinschränkungen durch o.g. Konstruktionselemente für den Piloten gibt.

9.1.2. Aktive Maßnahmen

- **Elektro-optische Systeme für Kleinflugzeuge**

Wie in Kapitel 7.1.1 bereits erläutert, liegt der große Vorteil eines elektro-optischen Systems darin, dass es nicht von einer bestimmten Ausrüstung eines Gegenparts abhängig ist, sondern unmittelbar ein zusätzliches Schutzsystem bietet.

Ursprünglich wurden die elektro-optischen Systeme im militärischen Bereich als sog. Missile Approach Warner entwickelt. Diese aktuellen Systeme sind für einen Einsatz in Flugzeugen der Allgemeinen Luftfahrt nicht geeignet. Es ist allerdings denkbar, dass eine Weiterentwicklung möglich ist, die ein entsprechendes System auch für Kleinflugzeuge sowohl vom Platz und Gewichtsbedarf als auch vom Preis her interessant macht.

- **TCAS**

Um die Sichtbarkeit auch von Kleinflugzeugen auf größere Entfernung zu verbessern, werden von der Industrie Systeme angeboten, die dem ACAS I Standard entsprechen. Diese Systeme zeigen auf Kollisionskurs fliegende Flugzeug mit Leuchtdioden oder auf kleinen Displays nur der Richtung nach an. Bis heute haben diese Systeme keine Verbreitung gefunden.

TCAS – Systeme sind nur sinnvoll, wenn alle Kleinflugzeuge damit ausgerüstet sind und deren Signale von Militär- und gewerblichen Flugzeugen empfangen werden können. Nur so könnte ein gegenseitiger Schutz gegen Nichterkennen sichergestellt sein. Grundsätzlich ist ein System, welches Hilfestellung bei der Auffassung gegnerischer Flugzeuge auf Kollisionskurs gibt, begrüßenswert, da es die Aufmerksamkeit des Piloten bei der Luftraumbeobachtung in die entsprechende Richtung lenkt und ein früheres Wahrnehmen unterstützen würde.

Mit der Zulassung erster Mode S - Transponder auch für Klein – und Segelflugzeuge ergeben sich eventuell neue Möglichkeiten, in Zukunft TCAS Systeme zu einem vertretbaren Preis zu entwickeln, die das Transpondersignal ähnlich wie in Systemen von Verkehrsflugzeugen berechnen und aufbereiten können. Allerdings ist eine entsprechende Verbreitung der Transponder in den nächsten 10 Jahren ohne Förderung noch nicht zu erwarten, ein Kollisionswarnsystem für die Allgemeine Luftfahrt wird daher erst mittelfristig realisierbar.

- **Besonderheiten eines Antikollisionssystems bei Segelflugzeugen**

Eine der häufigsten Ursachen von Kollisionsunfällen im Bereich Segelflug ist das Bestreben, in einem Aufwind möglichst schnell an Höhe zu gewinnen. Wenn man als Segelflugpilot ein anderes steigendes Segelflugzeug sieht, dann fliegt man mit hoher Geschwindigkeit auf den dort vermuteten Aufwind zu und versucht mit dem oder den anderen Flugzeugen, den Aufwind optimal zu zentrieren. Die Verfahren, wie man sich als Segelflugpilot zu anderen Flugzeugen in einen Aufwind einzureihen hat, werden innerhalb der Ausbildung unterrichtet.

Diese Besonderheit des Segelfliegens könnte zu folgendem Szenario führen: Ein A-CAS-System könnte die Ansammlung mehrerer Segelflugzeuge in einem Aufwind anzeigen und somit weitere Segelflugpiloten anlocken, ebenfalls den so markierten Aufwind aufzusuchen. Statt Kollisionsvermeidung würde so das Gegenteil erreicht, d.h. zur Pulkbildung mit einer Erhöhung der Kollisionsgefahr führen.

Ein weiterer Aspekt ist, dass beim Thermikkreisen Segelflugzeuge zwar meist dicht zusammen fliegen, eine Gefährdung jedoch nicht zwangsläufig damit verbunden sein muss. Ein Antikollisionssystem müsste nun, um den Piloten nicht mit ständigen Fehlalarmen zu irritieren, genau diese Tatsache berücksichtigen. Die im folgenden näher erläuterten Projekte versuchen, ein Antikollisionssystem für Segelflugzeuge zu entwickeln, das den Piloten unterstützt aber nicht ablenkt.

- **Schweizer Projekte, die sich mit Kollisionsschutzsystemen befassen**

Seit der Einführung von GPS (konzipiert in den 70er Jahren), welches weltweit die Position ohne grossen Aufwand genauer als 100 m bestimmen kann, wird versucht, über Funk die Position eines Flugzeugs zu übermitteln. Auf diese Weise könnten andere Flugzeuge die Gefährdung berechnen und den Piloten warnen. Eine grosse Zahl von Studien, Dissertationen, Diplomarbeiten, Artikeln und Patenten widmen sich seit etwa zwanzig Jahren diesem Thema. Mit der massiven Verbreitung der GPS-Geräte sowie der heutigen kostengünstigen aber leistungsfähigen Integration der Elektronik werden solche „mini-ACAS“ Lösungen realistisch.

In der Schweiz gibt es vier Projektteams, die sich gegenwärtig mit einem Antikollisionssystem beschäftigen.

1. FLARM: dieses Projekt ist deutlich am weitesten fortgeschritten und wird erstmals im Sommer 2004 mit einer grossen Verbreitung im Schweizer Segelflug angewandt.
2. IDOCAS: das Hauptaugenmerk dieses Konzepts liegt in der Kollisionsvermeidung von Helikopter mit Seilbahn- und Hochspannungskabeln.
3. μ TCAS: ist ähnlich wie das FLARM-Gerät aufgebaut. Es existiert noch kein Prototyp; das Projektteam ist auf der Suche nach Investoren
4. FH Solothurn: an der Fachhochschule Solothurn wurden zwei Prototypen entwickelt, die in erster Linie der Untersuchung der Mensch-Maschine-Schnittstelle dienen. Dieses Projekt wird nicht fortgeführt, die Ergebnisse stehen den anderen Projekten zur Verfügung.

Allen Systemen ist gemein, dass sie auf der selben Frequenz die GPS-Position und weitere Bewegungsinformationen senden und ein einheitliches Übertragungsprotokoll nutzen. Dieses Protokoll wurde dem internationalen Segelflugverband IGC vorgestellt und ist öffentlich zugänglich. Somit ist eine Interoperabilität gewährleistet. Da alle Systeme kooperative Systeme sind, ist diese gemeinsame Basis begrüßenswert. Das Übertragungsprotokoll ist dafür ausgelegt, auch bei einer hohen Verkehrsdichte zu funktionieren, wie es im Segelflug oft der Fall ist.

FLARM: (www.flarm.com)

FLARM übermittelt über Funk die Positionsdaten. Andere Flugzeuge, sofern mit einem kompatiblen System ausgerüstet, berechnen die Gefährdung und warnen den Piloten akustisch und optisch, sprechen aber keine Ausweichempfehlungen aus. FLARM warnt auch vor Kabeln und Antennen. Alle bekannten Objekte der Schweiz sind dreidimensional erfasst. Das FLARM-Gerät wird vom nicht-profitorientierten Verein FLARM TECHNOLOGY entwickelt.

Die Warnungen sind so optimiert, dass der Pilot nur bei akuter Kollisionsgefahr gewarnt wird. Er soll nicht unnötig abgelenkt werden. Die Motion Prediction wurde mit Hilfe von realen Flugdaten optimiert. FLARM unterstützt die aktive Luftraumbeobachtung durch den Piloten. Es ersetzt diese aber nicht. Ebenso wird FLARM nicht in allen Situationen rechtzeitig warnen können.

Das integrierte Funk- und 16-Kanal GPS-Modul sowie ein optionaler barometrischer Höhenmesser gewährleisten einen optimalen Betrieb. Der Funk wird über ein industriell übliches SRD-Funkband abgewickelt, welches am Boden weltweit lizenzfrei betrieben werden darf. Abklärungen mit den zuständigen Behörden für einen Einsatz in der Luft sind im Gang. FLARM ist für das Bewegungsverhalten von Kleinflugzeugen optimiert und kann für verschiedene Luftfahrzeugtypen konfiguriert werden, so dass beispielsweise Fallschirmspringer und Segelflugzeuge gegenseitig gewarnt werden. Flugbewegungen von Segelflugzeugen und Hängegleitern sind nur für eine sehr kurze Zeit vernünftig vorhersehbar. Deshalb beschränkt sich FLARM auf eine Reichweite bis ca. 1,5 km. Damit kann die Funkleistung (10mW während weniger als 1% der Zeit) gering gehalten werden.

Eine Entscheidung über eine erste Serienfertigung erfolgt Anfang Mai 2004. Das Entwicklerteam hat einen pragmatischen Ansatz gewählt und sich im ersten Anlauf auf die Schweiz konzentriert. Es liegen mündliche Zusagen der zuständigen Bundesstellen vor (Stand 16.03.2004), dass das System im vorgesehenen SRD-Frequenzband betrieben werden darf. Für den Sommer 2004 ist die Auslieferung einer größeren Anzahl von Geräten (>150) vor allem an Schweizer Segelflieger geplant. Im Anschluss sollen die Erfahrungen bzgl. der Alltagstauglichkeit und der Pilotenakzeptanz ausgewertet werden. Verläuft alles positiv, sind Gespräche mit weiteren europäischen Zulassungsstellen geplant.

IDOCAS: (www.idocas.ch)

IDOCAS steht für **I**ntelligent **D**istributed **O**bstacle & **C**ollision **A**voidance **S**ystem. Das System wurde an der Zürcher Hochschule Winterthur entwickelt und sollte in erster Linie eine Kombination von Hinderniswarnungen gegenüber festen Zielen (z.B. Hoch-

spannungsleitungen und Seilbahnkabeln) und beweglichen Zielen (andere Luftverkehrsteilnehmer) verwirklichen.

Eine grundlegende Idee des Systems liegt darin, dass über das Land verteilt aufgestellte Sender die Daten der festen Hindernisse in einem bestimmten Umkreis ausstrahlen. Die Empfangseinheit an Bord eines Luftfahrzeuges verwertet diese Informationen und berechnet, ob sich das Luftfahrzeug auf einem Kollisionskurs zu einem Hindernis befindet oder nicht. In einer ersten Ausbaustufe ist angedacht, eine feste Hindernisdatenbank in das flugzeugseitige Modul zu integrieren, bis eine flächendeckende Versorgung mit stationären Sendern gewährleistet ist. Zur gleichen Zeit sendet das bordseitige Modul die Flugzeugposition, so dass von einem zweiten Luftfahrzeug auch diese empfangen werden kann und mit in eine Kollisionswarnung einbezogen werden kann.

mTCAS:

Die technischen Grundlagen sind denen des FLARM-Systems sehr ähnlich. Allerdings wurde noch nicht über eine Umsetzung in einen Serienstandard entschieden.

FH Solothurn:

Das Projekt wurde eingestellt und die Ergebnisse den anderen Projekten zur Verfügung gestellt.

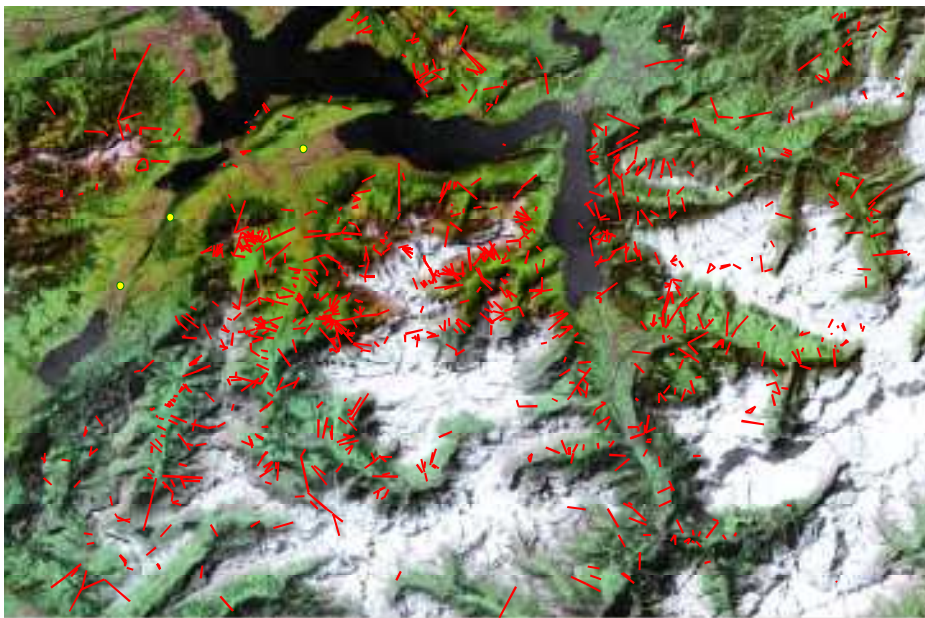


Abb. 17: Verlauf von Seilbahnkabeln in der Schweiz

Fazit:

Aufgrund der geographischen Besonderheiten in der Schweiz kommt es hier zu einer wesentlich stärkeren Bündelung insbesondere des Segelflugverkehrs. Aus diesem Grund ist auch die Zusammenstoßgefahr deutlich größer als über z.B. dem deutschen Flachland. Weiterhin besteht die Gefahr der Kollision mit Seilbahnkabeln, die sehr zahlreich an den Berghängen entlang führen (siehe Abbildung 17) und schlecht sichtbar sind.

Vor diesem Hintergrund ist zu erklären, weshalb es in der Schweiz zur Entwicklung von kleinen und kostengünstigen Antikollisionssystemen mit Hindernisdatenbanken gekommen ist. Allerdings hat noch kein System bisher alle Hürden auf dem Weg zu einer möglichst umfassenden Verbreitung überwunden. Am weitesten fortgeschritten ist das System FLARM, das diesen Sommer in einem ersten grossen Einsatz seine Alltags-tauglichkeit unter Beweis stellen muss. Besonders positiv hervorzuheben ist, dass sich die Entwicklerteams auf ein gemeinsames Übertragungsprotokoll und Frequenz-band geeinigt haben, so dass sichergestellt ist, dass die Systeme gemeinsam eingesetzt werden können. Weiterhin ist dieses Übertragungsprotokoll öffentlich zugänglich, so dass auch weitere Hersteller oder Entwicklerteams eigene Geräte entwerfen können. Aus Sicht des BEKLAS-Teams sind die Ansätze sehr zu begrüßen. Wird die Tauglichkeit des FLARM-Systems nachgewiesen, sollten auch in Deutschland Anstrengungen unternommen werden, dass Systeme, die das FLARM zugrunde liegende Übertra-gungsprotokoll nutzen, in der Bundesrepublik Deutschland betrieben werden dürfen.

9.2. Maßnahmen und Möglichkeiten in der Schulung der Piloten

Die Schulung der Piloten sollte sich nicht allein auf die Vermittlung von Lehrinhalten hinsichtlich der nach LuftPersV/JAR FCL [31] prüfungsrelevanten Themen (Aerodyna-mik, Technik, Flugzeugkunde, Navigation, Meteorologie, Luftrecht, Verhalten in beson-deren Fällen, Menschliches Leistungsvermögen, Flugfunk) beschränken. In den folgen-den Kapiteln werden darüber hinaus Maßnahmen und Möglichkeiten aufgezeigt, wie das Gesamtbewusstsein der Piloten (die sog. „situational awareness“) verbessert wer-den kann.

9.2.1. Verbesserungen des Pilotenverhaltens

Analysiert man die Kollisionsunfälle der vergangenen 20 Jahre, so drängt sich der Schluss auf, dass häufig weniger ein fehlender Sichtkontakt der beteiligten Flugzeuge Ursache von Kollisionen in der Luft war, als mangelndes Gefahren- und Situations-bewusstsein („situational awareness“) der Piloten. Schicksalhafte Begegnungen im Luftraum ohne die Chance, sich vorher sehen zu können, spielen im Vergleich dazu eine vernachlässigbare Rolle an diesem Unfallgeschehen.

In den meisten Fällen von mid-air Kollisionen haben die Flugzeugführer von dem geg-nerischen Luftfahrzeug gewusst, es zum Teil auch vorher gesehen, aber mental kein richtiges Bild ihres eigenen Flugweges zum gegnerischen Flugweg entwerfen und damit die Gefährlichkeit der eigenen Situation realisieren können. Eine Ursache dafür mag häufig in der mangelhaften Auswertung vorhandener Informationen liegen.

Zur Illustration soll folgendes Beispiel dienen: das gegnerische Flugzeug ist gut sicht-bar, der betroffene Flugzeugführer aber durch Kartenarbeit, elektronische Rechner im Cockpit oder hohe Arbeitsbelastung im Anflug mehr ins Cockpit als nach draussen orien-tiert. Der notwendige „Outsidescan“ wird dadurch zuwenig oder zu nachlässig durchge-

führt. Der Pilot sieht das gegnerische Flugzeug nicht, (z.B. durch konstruktive tote Winkel, Hochdecker/ Tiefdecker oder abdeckende Streben im Cockpit), er weiß aber durch Mithören des Funkverkehrs, wo sich das gegnerische Flugzeug ungefähr befindet. Trotzdem kann er sich kein eigenes Bild der Situation aufbauen und unter Berücksichtigung der speziellen Totwinkel seines Flugzeuges einen sicheren Flugweg zur Kollisionsvermeidung finden.

Eine weitere Ursache kann darin liegen, dass der Pilot in vielen Fällen die vorhandenen Ressourcen nicht nutzt, indem er den auditiven Kanal ausblendet und Funkverkehr überhaupt nicht abhört

Eine der häufigen Unfallursachen ist das Vergessen oder das bewusste Übertreten von gängigen Flugregeln und die damit einhergehende zunehmende Disziplinlosigkeit.

Gerade Kollisionen im Segelflug ließen sich vermeiden, wenn diese Regeln wieder mehr beachtet würden. Viele Kollisionsunfälle ereigneten sich im Segelflug, obwohl sich die Flugzeugführer gesehen hatten, aber z.B. die Kreisflugregeln nicht eingehalten wurden. Pulkbildungen an Wendepunkten oder in einzelstehenden Thermikschläuchen mit „Ellenbogenfliegerei“, z.B.: zentrieren ohne Rücksichtnahme auf die Mitflieger, scharfes Hochziehen in einen Thermikschlauch, in dem bereits andere Flugzeuge kreisen, zeugen von Disziplinlosigkeit und rücksichtsloser Wettbewerbsorientierung zum vermeintlichen eigenen Vorteil unter Inkaufnahme der Gefährdung anderer Mitflieger.

Ähnlich sind Schauflieger zu bewerten, die z.B. nach dem Absetzen von Fallschirmspringern mit Sturzflügen in die Platzrunde oder mit tiefen Überflügen und unkoordiniertem Hereinziehen in den Platzrundenverkehr ihre fliegerischen Fähigkeiten demonstrieren und ihre Vereinskollegen beeindrucken wollen. Hierbei wurden schon häufig andere Flugzeuge im Platzrundenverkehr übersehen und es kam zu Kollisionen in Bodennähe, die fast immer tödlich endeten.

9.2.2. Maßnahmen zur Verbesserung der Situational Awareness

Nach Sichtung der vorliegenden Unfallszenarien kommen wir zu der Auffassung, dass in der Schulung der Piloten und der Durchsetzung der vorhandenen Regeln im gemeinsamen Luftverkehr das größte Potential zukünftiger Unfallvermeidung von Kollisionsunfällen liegt.

- Die Augen der Piloten lassen sich schwerlich verbessern.
- Die Erkennbarkeit der Flugzeuge wird sich durch technische Maßnahmen nur mit großem Aufwand und nicht für jede Situation verbessern lassen.
- Elektronische Sichthilfen, wie TCAS – Systeme für Kleinflugzeuge liegen technisch noch in weiter Ferne und machten nur Sinn bei flächendeckender Verbreitung.

Deswegen liegt in der Schulung der Piloten das größte und am schnellsten verfügbare Unfallvermeidungspotential. Leider hört Schulung bei Piloten mit Erteilung der Lizenz in den meisten Vereinen auf, so dass eine Weiterentwicklung zumeist autodidaktisch erfolgt. Mit Einführung der JAR – FCL Vorschriften in Deutschland ergeben sich zwei Ansatzpunkte für eine permanente Beeinflussung und Schulung des Pilotenverhaltens:

Die Einführung des neuen Prüfungsfachs - Menschliches Leistungsvermögen (Human Performance and Limitations) - sollte als einen Schwerpunkt das mentale Training von Piloten vorsehen. Hierbei muss der Schwerpunkt auf das Eintrainieren von richtigen Verhaltensweisen in Routine - und Gefahrensituationen gelegt werden. Dazu gehören Strategien, sich die richtige Situational Awareness durch Ausnutzung aller vorhandenen Informationen über alle dazu notwendigen sensorischen Kanäle zu verschaffen und zu behalten, sowie Verhaltenstrategien bei Verlust derselben. Die Piloten müssen lernen, sich mentale Engramme (Verhaltensmuster) für die meisten Gefahrensituationen selbst zu erarbeiten, damit sie diese wie innere Checklisten im Informationsverarbeitungsprozess jederzeit zum eigenen Nutzen und zur Gefahrenbeherrschung abrufen können und richtig handeln. Entsprechende Unterrichtsverfahren sollten Fluglehrer oder Flugmediziner / -Psychologen in dieses Unterrichtsfach einführen.

Die nach JAR – FCL geforderten jährlichen Übungsflüge sollten genutzt werden, nach einem strukturierten Ausbildungsplan die Grundfertigkeiten eines Piloten aus der Anfangsschulung aufzufrischen und weiterzuentwickeln. Dabei sollte der Fluglehrer auf das strikte Einhalten von Luftfahrtregeln und Verfahren achten, sowie auf die Fähigkeit durch Luftraumbeobachtung und Nutzung des Funkverkehrs eine permanente Situational Awareness zu gewährleisten. Das gleiche gilt für die jährlichen IFR-Checkflüge, bei denen ebenfalls auf die Problematik des Mischbetriebes IFR/VFR mit den entsprechenden Rechten und Pflichten hingewiesen werden sollte.

Das Vorhandensein ausreichender mentaler Engramme beim Piloten kann durch strukturierte Arbeitsweise während komplexer Aufgabenstellung im Cockpit überprüft werden. Ein Debriefing als Abschluss eines Übungsfluges sollte obligat sein, verbunden mit einer Einschätzung der Pilotenfähigkeiten und einem Schulungsangebot falls Lücken erkennbar sind.

Dieses sollte auf freiwilliger Basis geschehen und nicht als Prüfungsereignis mit dem Risiko des Lizenzverlustes, um eine möglichst hohe Akzeptanz bei den Piloten zu erreichen.

Aber auch bereits bekannte Sachverhalte müssen regelmäßig wieder in das Bewusstsein von Piloten und Fluglehrern gebracht werden. Die folgende Tabelle listet eine Reihe von Sachverhalten auf, die sowohl bei der Anfängerschulung als auch bei der Weiterbildung bzw. bei den jährlichen/zweijährlichen Übungsflügen (nach JAR FCL jetzt auch für „normale“ PPL-A Piloten erforderlich) den Piloten bewusst gemacht werden sollten:

- die Auffrischung des Kenntnisstandes der Piloten über die unterschiedlichen Kollisionsrisiken im kontrollierten/unkontrollierten Luftraum
- die Schulung flugzeugspezifischer Eigenarten bei der Sicht nach außen (Hochdecker, Tiefdecker, Abstreben; Kurvenflug, Steig- und Sinkflug)
- die dringende Empfehlung, beim Flug in der Nähe von Kontrollzonen bzw. Lufträumen C und D mit der Flugsicherung Kontakt aufzunehmen
- die Bewusstseinschärfung für IFR-Piloten, dass unterhalb FL 100 durchaus mit VFR-Verkehr zu rechnen ist, der nicht im Funkkontakt zur Flugsicherung steht – und der zum Teil auch nicht vom ACAS/TCAS erfasst wird.

Als Erweiterung für das Training von gewerblich tätigen Piloten sollten in die Sichtsysteme von Flugsimulatoren der Militär- und Verkehrsflugzeuge auch Kleinflugzeuge, Segelflugzeuge und Ultraleichtflugzeuge installiert werden, die sich ggf. sogar regelwidrig bewegen können. Die Aufmerksamkeit der gewerblichen und militärischen Piloten, diese Luftraumnutzer zu erfassen und zu erkennen, sollte bei unterschiedlichen Sichtverhältnissen ein fester Bestandteil des Simulatortrainings sein.

Nicht nur, aber vor allem im Luftraum E, (siehe Kapitel 7.1.2) hat auch der kontrollierte Luftverkehr die Verpflichtung, „aus dem Fenster zu schauen“ und das Prinzip „Sehen und Gesehen werden „ zu beachten.

9.2.3. Weitere Möglichkeiten zur Kontraststeigerung und zur Erhöhung der Wahrnehmungsfähigkeit

Im folgenden werden noch weitere Möglichkeiten dargestellt, die eigentlich selbstverständlich sein müssten, in der Praxis jedoch oftmals missachtet werden.

- **Vermeidung von Haubenreflexionen**

Häufig ist die Außensicht aus Segelflugzeugen und Motorflugzeugen erheblich eingeschränkt, da es durch Chromringe an Instrumenten, helle Gurtzeuge, helle Thermikhüte oder Schirmmützen, helle Pilotenkleidung oder Kartenablagen auf der Instrumentenabdeckung zu starken Reflexionen in den Cockpitscheiben kommt. Besonders stark kann dieser Effekt in den geblasenen Vollsichthauben moderner Segelflugzeuge sein, die aufgrund ihrer Krümmung wie ein Hohlspiegel entsprechende Reflexionen im Cockpit stark vergrößern.



Abb. 18: Starke Außensichteinschränkung durch Reflexionen in der Cockpitscheibe

Die Außensicht kann dadurch stark eingeschränkt sein und in Doppelsitzern besonders für den hinteren Sitz nahezu aufgehoben sein. Durch Aufklärung und Schulung sollte auch in diesem Bereich das Pilotenverhalten geändert werden.

Durch Bau- und Zulassungsvorschriften könnte die Blendfreiheit für Instrumente, Palmtops und übrige Ausrüstungsgegenstände im Cockpit sichergestellt werden. Gegebenenfalls sollten die Flugzeugkonstrukteure gehalten werden, sich an der Autoindustrie zu orientieren, wo seit Jahrzehnten blendfreie Instrumente Standard sind. Da Blendung nach dem Prinzip Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel für Streulicht funktioniert, wäre oftmals nur die richtige Aufhängung des Instrumentenbretts (Licht ins Cockpit gekippt) ausreichend.

- **Allgemeine Dämpfung der Lichtmenge durch Sonnenbrillen**

Die im Verlauf eines VFR- Fluges auf das Auge einfallende zumeist erhebliche Lichtmenge sollte man reduzieren, damit die Netzhaut nicht geblendet ist und wieder in die Lage kommt, einen Kontrast wahrzunehmen. Hier bieten sich alle Möglichkeiten der Sonnenbrillen an. Besonders vorteilhaft scheint aus diesen grundsätzlichen Überlegungen die Verlaufstönung von Brillengläsern zu sein. Die Absorption darf aber im oberen Teil nicht zu hoch werden, da man sonst die Wahrnehmbarkeit verschlechtern kann. Leider ist keine Brille bekannt, die alle wünschenswerten Eigenschaften in sich vereint, ohne Nachteile zu haben.

Polarisierende Brillengläser können selektiv Spiegelungen unterdrücken. Die Diskussion um diese Filter werden in der allgemeinen Literatur in unregelmäßigen Abständen wiederholt. Polarisierende Brillen mit linearen Polfiltern führen leider dazu, dass LC-Displays bei Kopfneigung an Kontrast verlieren.

- **Blaublocker**

Der Effekt von Blaublockern oder Blau- „abschwächen“ in Brillengläsern zur Kontraststeigerung ist begrenzt, aber bei trüben Wetterlagen hilfreich. Die Kombination der verschiedenen optischen Mittel ist möglich, aber die Varianz der Lichtstärken während eines einzigen Fluges macht es unmöglich, die Vorteile der verschiedenen Mittel zu messen.

9.3. Operative Maßnahmen zur Kollisionsvermeidung

Die folgenden Vorschläge stellen Möglichkeiten dar, wie im operativen Betrieb von allen am Luftverkehr beteiligten Institutionen (sowohl Sport-, Militär- als auch gewerblicher Fliegerei auf der einen Seite und Flugsicherung auf der anderen Seite) Fehler, die zu einem erhöhten Kollisionsrisiko führen, vermeiden können.

9.3.1. Verbesserungen bei der Flugvorbereitung

Die Bereitstellung von NOTAMs könnte verbessert werden, indem die NOTAMs entsprechend ihrer räumlichen Gültigkeit vor dem Hintergrund einer Flug-/Landkarte dargestellt werden. Der Pilot kann damit bei der Flugvorbereitung auf einfache Weise feststellen, welche NOTAMs für seinen geplanten Flugweg relevant sind. Die Darstellung dieser Karte kann im Internet mit existierender Technologie realisiert werden, ähnliche Beispiele finden sich bereits. Ein wichtiger Punkt ist hierbei die Pflege der Datenbestände, die zentral erfolgen sollte, um Konsistenz und Kontinuität sicherzustellen. Dies könnte durch die DFS geschehen, die ggf. weitere Inhalte wie die Auslastung von Flughäfen etc. einspeisen und so frühzeitig Einfluss auf die Flugplanung nehmen könnte.

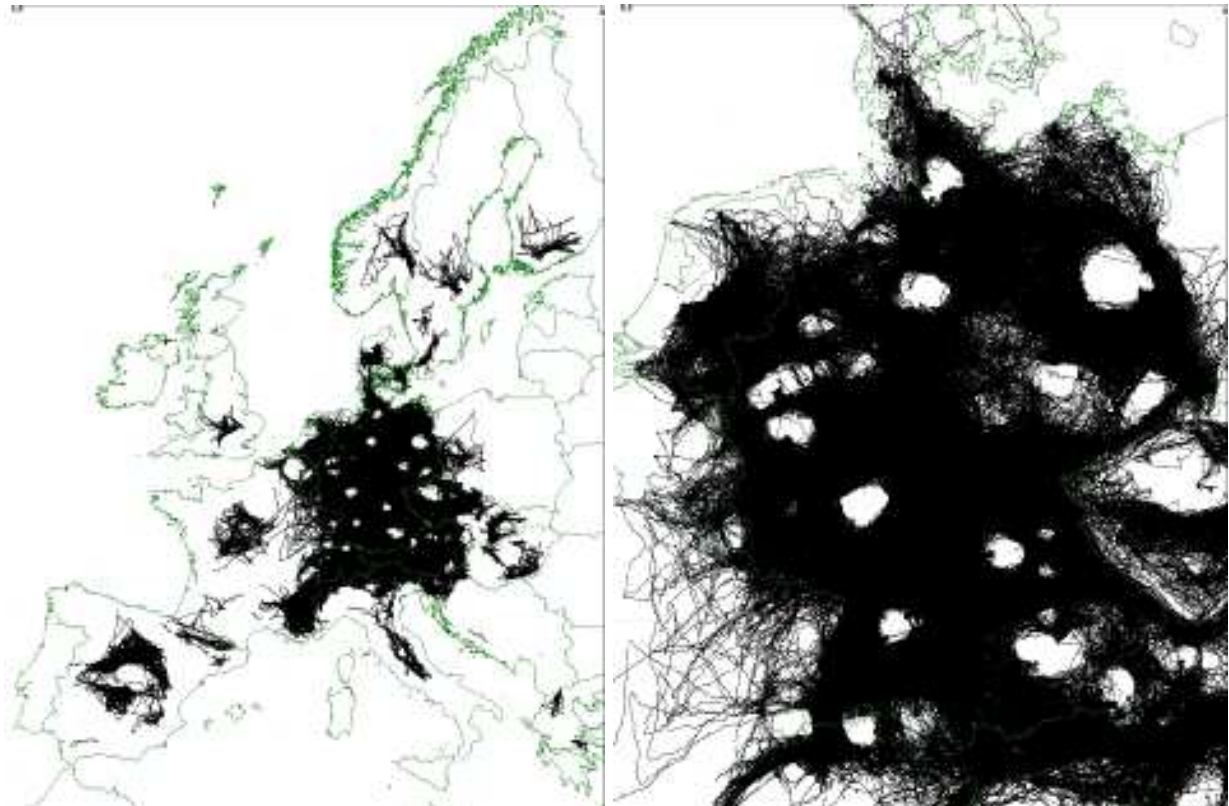


Abb. 19: Segelflüge in Europa (links) bzw. Deutschland (rechts)
[Quelle: [http://www.pfg.dk/termikanalyse/all_flights EUROPE.htm](http://www.pfg.dk/termikanalyse/all_flights_EUROPE.htm)]

Eine Auswertung der im Internet frei zugänglichen Streckenflüge von Segelflugzeugen (z.B. Online Contest OLC, siehe <http://www.onlinecontest.de>) zeigt, dass insbesondere in Deutschland überall außerhalb der für den Segelflug nicht zugänglichen Lufträumen an Tagen mit entsprechender Wetterlage mit Segelflugverkehr gerechnet werden muss. Wie das linke Bild in Abbildung 19 zeigt, ist vor allem Deutschland und der Alpenraum sehr stark frequentiert. Zur Darstellung (Abbildung 19 links) wurden 26.577 Flüge im Zeitraum von Juli 1996 bis Februar 2003 herangezogen, wobei allein 21.600 Flüge aus dem Jahre 2002 stammen. Ursache dafür ist die zunehmende Verbreitung von Datenloggern zur Aufzeichnung der Streckenflüge sowie die zunehmende Fokussierung der Wettbewerbsauswertung auf das Internet. Die Abbildung 19 rechts (Flüge in Deutschland) zeigt 19.580 Flüge im Zeitraum von Februar 2000 bis Februar 2003. Auch hier stammen die meisten Flüge (16.056) aus dem Jahre 2002. (Platzflüge bzw. nicht gemeldete Streckenflüge sind in diesen Bildern nicht enthalten.)

9.3.2. Meidung des Luftraumes dicht unterhalb der Basis von Cumulusbewölkung

Durchschnittlich werden von Segelflugzeugen ca. 1/3 der Flugzeit mit Kreisen zur potentiellen Energiegewinnung (Kurbelanteil) im Aufwind verbracht. Dieser Anteil variiert selbstverständlich je nach Leistungsvermögen des Piloten bzw. des Flugzeuges und je nach Aufgabenstellung (Übungsflug in Flugplatznähe, Überlandflug). So muss bei Anfängern mit älteren Flugzeugen mit Kurbelanteilen bis zu 80% gerechnet werden, wohingegen moderne Hochleistungssegelflugzeuge zum Teil nur ca. 20% der Flugzeit im Aufwind kreisen. Die Aufwinde findet man meistens unter Haufenwolken, seltener (bei Blauthermik) ohne Wolken.

Die anderen Luftverkehrsteilnehmer sollten vermehrt darauf hingewiesen werden, dass sich ein großer Teil der Segelflugzeuge im Aufwind kreisend befinden. An diesen Stellen finden üblicherweise auch die Kollisionsunfälle der Segelflieger untereinander statt. Besonders gefährlich sind die Unterflächen von Cumuluswolken in der Nähe von Flugplätzen. Nach einer französischen Studie [32] trauen sich nur 40% aller französischen Segelflugpiloten, die Flugplatznähe zu verlassen.

99% aller Segelflieger fliegen nicht höher als die Basis (= Hauptwolkenuntergrenze). Nur bei Wetterlagen mit sogenannter Wellenbildung (im Flachland ca. 5 Tage pro Jahr) sind höhere Flughöhen als die Untergrenzen von Cumuluswolken möglich. Die Zahl der Seglerpiloten, die derartige Wettersituationen nutzen, ist aber sehr gering. Die Wahrscheinlichkeit von Kollisionen mit Segelfliegern oberhalb der Wolkenbasis ist daher extrem unwahrscheinlich. Leider wird von vielen Segelfliegern der im kontrollierten Luftraum vorgeschriebene vertikale Abstand von 1.000 ft zu den Wolken oft nicht eingehalten.

Besonders an Wochenenden und in den Schulferien sollten alle Luftfahrzeugführer mit einer großen Anzahl von Segelflugzeugen in der Luft rechnen. Bei guten Wetterlagen befinden sich dabei die größten Ansammlungen von Segelflugzeugen in einem Höhenband in der oberen Hälfte zwischen Wolkenuntergrenze und Erdoberfläche (Arbeitshöhe der Segelflieger). Das Bewusstsein beim Militär- oder Motorflugpiloten, besonders in diesem Höhenband auf Segelflieger treffen zu können, steigert deren Erwartungshaltung und damit auch die bessere Erkennung von Segelflugzeugen auf dem eigenen Flugkurs.

In diesem Zusammenhang ergeht auch eine Empfehlung an die Fluglotsen der Deutschen Flugsicherung, IFR-Verkehr bei VMC (Sichtflug-Wetterbedingungen) möglichst lange über FL 100 zu halten, bzw. die Steig-/Sinkflüge bis zum Erreichen des FL 100 möglichst durch den Luftraum C bzw. D (nicht Kontrollzone) – falls vorhanden - durchführen zu lassen.

9.3.3. Vorschläge an die DFS

Analog hierzu sollte von der DFS geprüft werden, ob die NOTAMs in einfacher und verständlicher Form veröffentlicht werden könnten, damit auch dem weniger geübten Pilot die entsprechenden Luftraumeinschränkungen klar und deutlich vor Augen geführt

werden (Beispiel: Veröffentlichung im Internet mit Karte und entsprechender Symbolik, damit die NOTAMs örtlich besser zugeordnet werden können).

9.3.4. Operationelle Maßnahmen im Platzrundenverkehr

Durch Lärminderungsauflagen sind an den meisten Flugplätzen besondere An – und Abflugverfahren vorgeschrieben. Diese erfordern die volle Aufmerksamkeit der Piloten und zwingen sie dazu, trotz teilweise dichten Platzverkehrs ständig in die Anflugkarten zu schauen, um die Flugroute einzuhalten. Dadurch reduziert sich zwangsläufig die Zeit für den Außenscan und die Situational Awareness wird reduziert. Hier ist abzuwägen, ob die teilweise komplizierten Anflugverfahren wieder auf eine Standardplatzrunde zurückzuführen sind, bei der sich jeder Pilot im Gegenanflug in die Platzrunde einfädelt. Aus diesem Grund sollten verstärkt technische Lärminderungsmaßnahmen am Flugzeug zum Einsatz kommen. In Nordrhein-Westfalen wurde ein entsprechendes Förderprojekt zur Reduzierung von Fluglärm erfolgreich durchgeführt.

Grundsätzlich sollten alle Flugzeugführer auf der Platzfrequenz in Hörbereitschaft sein, um über den auditiven Kanal den optischen Kanal zu bestätigen oder auf sich meldende Flugzeuge zu fokussieren. Standardmäßig müssten dann an bestimmten Punkten der Platzrunde kurze Positionsmeldungen abgesetzt werden, damit das Situationsbewusstsein für alle beteiligten Piloten in der Platzrunde aufrechterhalten wird.

9.4. Allgemeine Hinweise

Es wurde bemängelt, dass viele kleine Flugzeuge zwar über einen Transponder mit Mode A/C verfügen, die Höheninformation aber von einem Blindencoder bzw. einem Encoding Altimeter dergestalt stammt, dass der Pilot über die abgestrahlte Höhe keine Information hat. Dies kann dann dazu führen, dass von der Flugsicherung falsche Verkehrshinweise (bzw. vom TCAS falsche Ausweichempfehlungen) gegeben werden. Als Kontrolle des richtigen Funktionierens ist das Anzeigen der vom Encoder über Mode-C bzw. Mode S übermittelten Höhe erforderlich – dabei muss aber klargestellt sein, dass es sich um eine auf 1013 hPa bezogene Höhe handelt.

9.5. Zusammenfassung der möglichen Maßnahmen

Im folgenden werden die wesentlichen Aussagen des Kapitels „Maßnahmen“ nochmals stichpunktartig zusammengefasst.

- Die Leistungsfähigkeit des menschlichen Auges ist anatomisch festgelegt und stößt beim Prinzip „Sehen und gesehen werden“ im Luftverkehr zur Kollisionsvermeidung an seine Grenzen.

- Die mentale Verarbeitung der optischen Informationen kann durch gezielte Schulung erheblich verbessert werden und ein wesentlich früheres Erkennen von anderen Luftfahrzeugen ermöglichen, bevor sich gefährlichen Begegnungen oder gar Kollisionen in der Luft ereignen. Sowohl die nach JAR FCL geforderten jährlichen Übungsflüge als auch das Unterrichtsfach „Menschliches Leistungsvermögen (Human Performance and Limitations)“ sollten hierauf einen besonderen Schwerpunkt legen.
- Störungen der optischen Informationen durch konstruktive Abdeckungen im Cockpit können nur durch mentales Bewusstsein des Piloten kompensiert werden. Entsprechende Mustereinweisungen, die die Besonderheiten der jeweiligen Sicht aus dem Cockpit berücksichtigen, sind daher für die spezielle mentale Verarbeitung optischer Informationen bezogen auf die Besonderheiten des jeweiligen Flugzeugmusters wichtig.
- Farbkennzeichnungen, Strobelights, Radarreflektoren und gegebenenfalls Kollisionswarnsysteme können Einzelbausteine für ein früheres Auffassen optischer Informationen bei Piloten sein, indem Kontraste erhöht oder die Aufmerksamkeit gelenkt wird.
- Die optischen Informationen sind eine Komponente der Situational Awareness des Piloten. Die Nutzung des auditiven Kanals mit seinen sprachlichen Informationen (Funk) trägt dazu bei, eine situationsgerechte mentale Verarbeitung der Sinneseindrücke bei einem Piloten sicherzustellen und daraus richtige Entscheidungen (Kollisionsvermeidung) abzuleiten. Die Situational Awareness eines Piloten ist die Grundlage für ein zielgerichtetes Einsetzen seines optischen Apparates.
- Operationelle Verfahren wie Platzrundenführung sollten zur Vermeidung von Kollisionsunfällen wieder stärker standardisiert werden. Hier besteht allerdings eine Interessenskollision mit den Lärmschutzerfordernissen.
- Die Kommunikation zwischen den unterschiedlichen Nutzergruppen des Luftraumes über ihre operationellen Besonderheiten, z.B. durch NOTAMs bzw. Internet, ist für die situative Vorbereitung der Piloten wichtig.

Nur wenn alle Möglichkeiten der mentalen Programmierung genutzt und geschult werden, kann das optische Leistungsvermögen des Piloten Auges optimal und zielgerichtet zur Kollisionsvermeidung eingesetzt werden. Die mentale Erwartung und entsprechende Zielrichtung gewährleistet eine optische Erkennung zum frühest möglichen Zeitpunkt.

10. Entscheidungshilfen für BMVBW

Im Verlauf der Studie hat sich deutlich gezeigt, dass die Verbesserung der Mental Awareness (das mentale Bewusstsein der Gefahrensituation) ein Kernelement ist, wenn es darum geht, Kollisionen zu vermeiden. Diese Verbesserung kann dabei auf vielfältige Weise geschehen, sei es durch bessere Ausbildung, kontinuierliche mentale Programmierung oder durch technische Hilfsmittel.

10.1. Einordnung der möglichen Maßnahmen

Im vorigen Kapitel wurden die möglichen Maßnahmen vorgestellt und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit beurteilt. Hieraus ergibt sich bereits eine Vorauswahl, welche Möglichkeiten als sinnvoll bzw. erfolgversprechend eingeschätzt werden. Was bisher nicht betrachtet wurde, ist die Frage, in welchem zeitlichen Horizont Ergebnisse aus der Umsetzung zu erwarten sind. Bisher wurden die Maßnahmen in

- Maßnahmen, die den Menschen im Mittelpunkt haben,
- Maßnahmen, die die Technik betreffen und in
- Maßnahmen, die sich auf den Flugbetrieb, also die Verfahren, auswirken,

unterschieden. Dieses Vorgehen entsprach der zugrunde liegenden Projektstruktur. Informationen zur Dauer der Umsetzung bzw. bis zum Wirksamwerden der jeweiligen Maßnahme sind zwar vorhanden, wenn auch teilweise nur implizit, aber noch nicht gesammelt verfügbar. Deshalb ist eine Umgruppierung der aus Sicht des Projektteams wirksamsten Optionen in kurz-, mittel- und langfristig umsetzbar notwendig.

Als kurzfristige Handlungsalternativen werden dabei solche Maßnahmen verstanden, die einfach umzusetzen sind, möglichst ohne großen Koordinationsaufwand und die rasch Ergebnisse bringen. Mittelfristige Maßnahmen bedürfen dagegen bereits einer gewissen Vorbereitung und Koordination innerhalb Deutschlands. Hier sind ggf. weitere Studien als Vorarbeiten erforderlich. In den Bereich „langfristige Maßnahmen“ werden schließlich solche Maßnahmen eingestuft, die grundsätzliche Entscheidungen, eine internationale Koordination oder umfangreiche bzw. flächendeckende technische Ausstattungen erforderlich machen.

Unter Berücksichtigung ihres möglichen Beitrags zur Minimierung des Kollisionsrisikos werden die Maßnahmen nun nach dem erwarteten zeitlichen Horizont ihrer Umsetzbarkeit neu geordnet.

10.2. Empfehlungen für kurzfristige Maßnahmen

Zusammenfassend gilt für den Bereich der kurzfristig umsetzbaren Handlungsalternativen, dass nach Ansicht des Projektteams insbesondere die Maßnahmen, die den Piloten im Fokus haben, schnell Wirkung zeigen und so unmittelbar und nachhaltig zur Minimierung des Kollisionsrisikos in der Luft führen. Um der Individualität der Menschen Rechnung zu tragen, ist eine Festschreibung bestimmter Inhalte, z.B. für die Übungsflüge nach JAR FCL aber gut abzuwägen.

Die Umsetzung der u.g. Maßnahmen wird allein durch Empfehlungen seitens des BMVfB eingeleitet. Durch den nicht bindenden Charakter einer Empfehlung erwartet das Projektteam einen reduzierten Aufwand für Vorbereitung, Koordination und Entscheidungsfindung im Vergleich zum Erlass bindender Vorschriften. Nach unserer Einschätzung tragen Empfehlungen zudem bei den Nutzern zu höherer Akzeptanz und zur schnelleren Umsetzung einer Maßnahme bei.

10.2.1. Ausweitung des Human Performance – Unterrichts bei der Pilotenausbildung

Im Rahmen dieses Faches muss dem Piloten in der Ausbildung bewusst gemacht werden, welchen Beschränkungen die menschliche Leistungsfähigkeit im Allgemeinen und insbesondere auch beim Erkennen von kleinen fliegenden Objekten unterworfen ist. Die Definition von Grob- und Feinzielen muss hierzu allerdings noch vorgenommen werden. Anschließend sind diese Punkte in einen verbindlichen Lehrplan aufzunehmen.

Da dies nicht kurzfristig erreichbar scheint, schlägt das Projektteam vor, dass das BMVfB bis dahin eine Empfehlung für die Inhalte des Human Performance – Unterrichts an die Flugschulen und Vereine ausspricht.

10.2.2. Übungsflüge nach JAR FCL

Diesen Flügen sollte ein strukturierter Übungsplan zugrunde gelegt werden, der auch auf die Fähigkeit zur Beobachtung des umgebenden Luftraumes abzielt. Idealerweise kann sich der Übende neben einem standardisierten Repertoire verschiedene weitere zu übende Elemente aussuchen. Auf diese Weise wird einerseits eine Standardisierung der Übungsflüge sichergestellt und darüber hinaus die Möglichkeit gegeben, gezielt auf die individuellen Bedürfnisse des Übenden einzugehen.

Bis zur Erstellung dieser Standardinhalte befürwortet das Projektteam, eine entsprechende Empfehlung zu den Übungsflügen, die das BMVfB mit einem nachdrücklichen Hinweis auf die beschriebenen Inhalte Luftraumbeobachtung, Einhaltung von Verfahren und Nutzung des Funks durch den Übenden versehen sollte.

10.2.3. Kennzeichnung durch LED

Diese Maßnahmen dienen der Kontrasterhöhung und damit der besseren Erkennbarkeit. Die Anbringung von LED-Beleuchtungskörpern am Luftfahrzeug (z.B. im Randbogen oder Winglet) sollte ohne eine Änderung der entsprechenden Bauvorschriften er-

möglichst werden. Damit werden die Kosten für eine Umrüstung gedämpft sowie zur Akzeptanz und schnellen Umsetzung dieser Option beigetragen.

Seitens des Projektteams wird dem BMVBW vorgeschlagen, eine entsprechende Empfehlung auszusprechen.

10.3. Empfehlungen für mittelfristige Maßnahmen

10.3.1. Verbesserte Bereitstellung von NOTAMs

Die Darstellung von NOTAMs auf einer interaktiven Landkarte dient der besseren Flugvorbereitung und gibt den Piloten schnell einen vollständigen Überblick über die auf dem geplanten Flugweg gültigen NOTAMs. Die Darstellung ist dabei mit bestehender Standardtechnologie durchführbar und sollte an zentraler Stelle, z.B. bei der DFS geführt werden.

Das Projektteam sieht es als sinnvoll an, ein Projekt zur Erstellung einer entsprechenden Internetpräsenz durchzuführen.

10.3.2. Opto-Elektronische-Kollisionswarnung für die Allgemeine Luftfahrt

Die Technologie der opto-elektronischen Kollisionswarngeräte stammt aus dem militärischen Bereich. Hierbei handelt es sich um ein sogenanntes nicht-kooperatives System, das auch ohne weitere Geräte in anderen Luftfahrzeugen funktioniert. Jedes Flugzeug, das mit einem solchen autonomen System ausgestattet ist, würde die Flugsicherheit nachhaltig verbessern. Die Realisierung eines derartigen Systems wird einem Zeitrahmen von 5 Jahren erwartet, da die Technologie zwar grundsätzlich vorhanden ist, für die Belange der Allgemeinen Luftfahrt jedoch entsprechend abgewandelt werden muss.

Das Projektteam sieht hier ein sehr großes Potential, Kollisionen in der Luft zu vermeiden. Allerdings liegen zu dieser Technologie noch wenig Erfahrungswerte vor, so dass zunächst in einer weiteren Studie zu klären ist, ob, bzw. wie ein opto-elektronisches Verkehrswarnsystem die Bedürfnisse der Allgemeinen Luftfahrt erfüllen kann und wie ein derartiges System zu realisieren ist. Das Projektteam empfiehlt daher, eine entsprechende Studie zur Klärung durchzuführen und abhängig von den Ergebnissen ein entsprechendes Entwicklungsprojekt in die Wege zu leiten.

10.4. Empfehlungen für langfristige Maßnahmen

10.4.1. Ausstattung mit Mode S – Transpondern

Langfristig sollten alle Luftfahrzeuge mit Mode S – Transpondern ausgestattet werden. Auf diese Weise kann auch die Flugsicherung ein vollständigeres Luftlagebild gewinnen. Der LAST-Standard auf der einen Seite bietet dabei die Möglichkeit der kostengünstigen Miniaturisierung, stellt aber nur einen eingeschränkten Funktionsumfang bzw. eine reduzierte Reichweite zur Verfügung. Auf der anderen Seite zeigt die fortschreitende Technologieentwicklung auch im Bereich der Transponder, dass inzwischen kostengünstige Systeme mit geringem Stromverbrauch auch nach dem „normalen“ Mode S Standard (ETSO C112B) möglich sind.

Zur beschleunigten Einrüstung und möglichst weiten Verbreitung von Mode S – Transpondern schlägt das Projektteam ein Förderprojekt vor. Dieses Projekt soll die Halter von Luftfahrzeugen unterstützen, die nach aktueller Rechtslage nicht transponderpflichtig sind bzw. werden und ihnen einen Anreiz bieten, dennoch einen Transponder einzurüsten.

10.4.2. Integration TIS-B, ADS-B und CDTI auf Basis der Mode S – Transponder in die Allgemeine Luftfahrt

Für die kommerzielle Luftfahrt zeichnet sich die Einführung von TIS-B ab. Durch geeignete Instrumentierung können auch Luftfahrzeuge der Allgemeinen Luftfahrt von diesen Verkehrsinformationen profitieren. Das Ergebnis der TAGA-Studie war ein „Cockpit-Display of Traffic Information“ (CDTI), das dem Piloten ein Luftlagebild anzeigt. Hier könnten die Informationen aus TIS-B eingespielt werden. Weiterhin besteht bei diesen Systemen die Möglichkeit, an einem ADS-B System teilzunehmen, sofern es zukünftig eingeführt wird. In der einfachsten Form werden die eigenen flugzeug- bzw. flugspezifischen Daten versendet und können von entsprechend ausgerüsteten anderen Flugzeugen empfangen und verarbeitet werden. Als zeitlichen Horizont bis zur Realisierung erwartet das Projektteam einen Zeitraum von ca. 7 Jahren. In diesem Zeitraum wird auch ein Großteil der Luftfahrzeuge mit Mode S - Transpondern ausgestattet sein, eine der Voraussetzungen für dieses System.

Nach Ansicht des Projektteams ist dies ein vielversprechender Ansatz, deshalb empfiehlt das Projektteam dem BMVBW zunächst in einer Studie zu klären, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, um TIS-B für die Allgemeine Luftfahrt nutzbar zu machen und wie die Modifikationen durchzuführen sind. Auf den Ergebnissen dieser Studie aufbauend sollte die Umsetzung im Rahmen eines Pilotprojekts erfolgen, mit dem ein Demonstrator erstellt wird, der dann weiter bewertet werden kann.

Die Verbreitung dieses Systems – wie auch der unter 10.3.2. „Opto-Elektronische-Kollisionswarnung für die Allgemeine Luftfahrt“ vorgestellten Möglichkeit - sollte auf freiwilliger Basis durch Empfehlungen erfolgen. Der Vorteil liegt hierbei in der schnelle-

ren Umsetzbarkeit, da langwierige nationale bzw. internationale Koordinationen und Absprachen bzw. legislative Änderungen entfallen. Als Vorbild hierzu kann die Verbreitung von GPS gesehen werden, das sich inzwischen zu einem De-Facto Standard entwickelt hat, obwohl es im Bereich der Allgemeinen Luftfahrt keine Verpflichtung zur Einrüstung gibt.

10.5. Weitere Maßnahmen

Im folgenden werden Maßnahmen nochmals zusammengestellt, die zwar im allgemeinen bekannt sein sollten, auf die aber dennoch wiederholt bzw. nachdrücklich hingewiesen werden sollte.

10.5.1. Kennzeichnung durch Warnlackierung und Spiegelfolien

Bei Flügen über entsprechendem Terrain (z.B. Alpen) sind die derzeit bereits eingesetzten farblichen Markierungen durchaus zu begrüßen. Allerdings führen diese Markierungen aus Sicht des Projektteams nicht zu einer generellen Verbesserung der Sichtbarkeit. Über den Vorteil von Spiegelfolien auf Rudern gibt es noch zu wenig Erkenntnisse, als dass eine abschließende Beurteilung dieser einfach durchzuführenden Maßnahme möglich wäre.

Das Projektteam schlägt deshalb vor, einen Hinweis auf diese Spiegelfolien durch das BMVBW zu veröffentlichen.

10.5.2. Rückspiegel

Die Anbringung von Rückspiegeln stellt eine einfache Maßnahme zur Verbesserung der Situational Awareness dar. Das Projektteam schlägt vor, hierfür ebenfalls nur eine Empfehlung auszusprechen und die Auswahl des Rückspiegels sowie seine Anbringung den Piloten zu überlassen.

10.5.3. Vermeidung konstruktiv bedingter Sichteinschränkungen

Durch viele zusätzliche Anbauten an der Instrumentenkonsole wird die Sicht aus dem Cockpit teilweise eingeschränkt. Das BMVBW sollte im Rahmen einer allgemeinen Mitteilung auf die entstehenden Risiken der optischen Abdeckung hinweisen und die Empfehlung geben, entweder auf solche Komponenten zu verzichten oder einen geeigneten Einbauort ohne Einschränkung des Sichtfeldes zu wählen.

Bei der Entwicklung neuer Flugzeuge sollte verstärkt auf eine gute Cockpitsicht geachtet werden. Auch hierauf könnte das BMVBW im Rahmen einer Mitteilung an die Luftfahrzeughersteller hinweisen.

11. Abkürzungsverzeichnis

ACAS	Airborne Collision Avoidance System
ADS	Automatic Dependent Surveillance
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance Broadcast
AIC	Aeronautical Information Circular
AIP	Aeronautical Information for Pilots
BEKLAS	Bessere Erkennbarkeit kleiner Flugzeuge als Schutz vor Kollisionen
BFU	Bundesanstalt für Flugunfalluntersuchung
CDTI	Cockpit Display of Traffic Information
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH
FL	Flight – Level, FL100 = 10.000ft (bezogen auf 1013,2 hPa)
FRUIT	False Reply Unsynchronised In Time
FSAV	Verordnung über die Flugsicherungs-ausrüstung
ft	Fuß, 1ft = 30,96cm
GND	Ground, Bezug bei Höhenangaben
hPa	hekto-Pascal
ICAO	International Civil Aviation Organisation
IDOCAS	Intelligent Distributed Obstacle & Collision Avoidance System
IFR	Instrumentenflugregeln
IMC	Wetterbedingungen für Instrumentenflug
JAR	Joint Aviation Regulation
JAR FCL	Flight Crew Licensing
KFZ	Kraftfahrzeug
KIAS	Knots Indicated Airspeed, angezeigte Geschwindigkeit gegenüber der Luft
LAST	Light Aviation SSR Transponder
LBA	Luftfahrt Bundesamt
LCD	Liquid Cristal Display
LED	Light Emitting Diode
LFZ	Luftfahrzeug
LuftVO	Luftverkehrsordnung
Mil	militärisch
Mo	Motorflieger
MoSe	Motorsegler
NfL	Nachrichten für Luftfahrer
NM	Nautical Mile, 1.852m
NN	mittlere Meereshöhe, Bezug bei Höhenangaben
NOTAM	Notice To Air Men
OLC	Online Contest
PPL	Privatpilotenlizenz
RA	Resolution Advisory
SBO	Segelflug-Betriebsordnung
Se	Segler
SSR	Secondary Surveillance Radar
TA	Traffic Advisory

TAGA	Projektbezeichnung, Traffic Awareness for General Aviation
TAS	True Airspeed, tatsächliche Geschwindigkeit gegenüber der Luft
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System
TIS	Traffic Information System
TIS-B	Traffic Information System Broadcast
TMZ	Transponder Mandatory Zones, transponderpflichtige Zonen
UL	Ultralight Aircraft, Flugzeugklasse
VFR	Sichtflugregeln
VHF	Very High Frequency, Funkband
VLA	Very Light Aircraft, Flugzeugklasse
VMC	Wetterbedingungen für Sichtflug

12. Literaturverzeichnis

- [1]: Marconi Electronic Systems „Low Cost Collision Warning System - Feasibility Study“, November 1998
- [2]: Abschlußbericht der Arbeitsgruppe beim Luftfahrt-Bundesamt (LBA) „Bessere Erkennbarkeit kleiner Luftfahrzeuge“
- [3]: See-and Avoid Operational Analysis Study (U) April 1997 Library, F 138 DERA Farnborough
- [4]: GZ. 84.467/2-FUS/2001 (Unfall Antonow AN 2 versus Katana)
- [5]: Dietmar Geistmann: Die Entwicklung der Kunststoffsegelflugzeuge, Motorbuchverlag 2. Auflage, ISBN:3-87943-483-2
- [6]: W. Haase und B. Rassow in: Strabismus, H. Kaufmann, 3. Auflage 2003, Kap.1.4, S. 75 pp
- [7]: Küpfmüller, K. (1962): Nachrichtenverarbeitung im Menschen. In: Steinbuch, K. (Hrsg): Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung Berlin, Göttingen, Heidelberg
- [8]: Keidel, W. D. (1969) Kurzgefasstes Lehrbuch der Physiologie, 2. Auflage, Georg Thieme Verlag Stuttgart, Seite 370-371
- [9]: Bolte U., Babbitt, H. (1990) Regelungstechnische Simulation der Schnittstelle Mensch-Maschine, Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 44, 6-13).
- [10]: Erwin Hartmann in Lehrbuch der Ergonomie Hrsg. Heinz Schmittke Teil 4. Einfluß der Arbeitsumwelt auf den Menschen S.188
- [11]: DIN-Taschenbuch 177: Augenoptik. 3. Auflage. Beuth Verlag, Berlin 1999, ISBN 3-410-14292-4
- [12]: M. Gräf: Methoden der objektiven Sehschärfenbestimmung. Habilitationsschrift am Fachbereich Humanmedizin des Justus-Liebig-Universität Gießen, 1996, S.72
- [13]: Paliaga, Bestimmung des Sehschärfe, Quintessenz Verlag
- [14]: Zum Einfluss von Gesichtsfeldort und Reizorientierung auf verschiedene Wahrnehmungsleistung, M. Fahle, in Pathophysiologie des Sehens, Hrsg. Volker Herzau, Enke Verlag, Bücherei des Augenarztes, S. 119 - 122
- [15]: Michelson: zit. Bei B. Rassow: Zur Bestimmung der Kontrastempfindlichkeit. Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde 193 (1988) 93-98
- [16]: NfL II- 26/83 „Bekanntmachung über Zusammenstoß- Warnlichtanlagen und Farbkennzeichnung für Luftfahrzeuge“; LBA, 1983
- [17]: Dr. Tony Head (Preliminary Report): Glider conspicuity trials, RAF Bicester, College of Aeronautics, Cranfield University, August 2000

- [18]: Dr. Tony Head: „See-and-avoid“?, Artikel in „Sailplane & Gliding, August/September 2003
- [19]: Advisory Circular Joint Very Light Aircraft, Veröffentlicht in JAR VLA, April 1990
- [20]: Joint Aviation Requirements JAR-23
Normal, Utility, Aerobatic and Commuter Category Aeroplanes
- [21]: Verordnung über die Flugsicherungsausrüstung; DFS Offenbach, 22.10.1998
- [22]: Safety Letter: Airborne Collision Avoidance System ACAS, Safety Management EUROCONTROL, November 2002
- [23]: NfL II-30/03 „Allgemeinverfügung auf der Grundlage von § 29 Abs. 1 Luftverkehrsgesetz über die Verwendung von Kollisionsschutzsystemen (ACAS/TCAS) einschließlich der betrieblichen Verfahrensabläufe“ Bonn, 2003
- [24]: RTCA DO-185A, Minimum Operational Performance Standards for Traffic Alert and Collision Avoidance System II (TCAS II) Airborne Equipment
- [25]: LAST - Light Aviation Secondary Surveillance Transponder, LBA-NTS-23, März 2003
- [26]: NfL II-70/79: Bekanntmachung über Farbkennzeichnung von Segelflugzeugen, Motorseglern und Flugzeugen mit einem Höchstgewicht bis zu 600 kg; Braunschweig, LBA, 1979
- [27]: NfL I-43/00: Voraussetzungen zur Erteilung von Flugverkehrskontrollfreigaben zur Durchführung von Flügen nach Sichtflugregeln (VFR) im Luftraum der Klasse D (nicht Kontrollzone); 10.02.2000
- [28]: NfL I-223/98: Bekanntmachung der Voraussetzung für die Erteilung einer Flugverkehrskontrollfreigabe für einen Sonderflug nach Sichtflugregeln in Kontrollzonen vom 3. 8.98
- [29]: Luftverkehrs-Ordnung; DFS, Offenbach, März 1999
- [30]: Luftverkehrs-Gesetz; DFS Offenbach, März 1999
- [31]: Verordnung über Luftfahrt-Personal; DFS Offenbach, 13.02.1984
- [32]: Die Optima-Studie des französischen Segelflugverbandes. Übersetzt für den DAeC von Frank Schüle, www.huyck.com/strecken/download/optima
- [33]: NfL II-80/99: Auflistung von EUROCONTROL Programmen mit Einfluß auf die Avionikausrüstung
- [34]: ICAO Annex 10, Volume 1, 1996
- [35]: ADS-B – Transponder: Einer für alle, AEROKURIER – Avionik Spezial, 8/99
- [36]: Arbeitsstelle Unfallforschung: Schwerpunkt „Ereigniserfassung und „
- [37]: Arbeitsseite Unfallforschung: Schwerpunkt „Ereigniserfassung“ und „Menschliches Versagen“, B. Linsenmaier, Waiblingen, 23.11.2001

- [38]: Augen auf – Du bist nicht allein, Flugsicherheits-info, Büro Flugsicherheit, 02/02
- [39]: Avionik Special: Kollisionswarner - Wissen, was los ist, Aerokurier (Heiko Müller), 7/2002
- [40]: BMVBW - Forschungsprojekt L-6/02: „Verbesserung der Erkennbarkeit von Segelflugzeugen und kleinen motorisierten Luftfahrzeugen als Schutz vor Kollisionen“, Schreiben Kleine-Beeck, BMVBW, an BMVg Fü L III 4, Oberst i.G. Schmidt, 21.2.2003
- [41]: Eines für alles - Das Avionikkonzept für die Zukunft, Aerokurier - Avionic Special, 8/98
- [42]: Flugsicherheitsinformationen V 158, BFU, 5/2000
- [43]: Flugunfallanalyse – Zusammenstoß 13.8.84 bei Ladelund, FUS-Bericht, Az 3x0407/84, Dr. Otto Weber, Institut für Flugmechanik, Braunschweig, 3.5.1985
- [44]: Gefährliche Begegnungen im Luftraum – Vermeidung von Zusammenstößen, AOPA Germany
- [45]: Gemeinsam im Luftraum – Militär- und Sportflieger, H. Meyer, Fürstenfeldbruck, 4/2003
- [46]: KIT POUR FEU FLASH - A LED BLANCHES POUR PLANEUR, Société Systèmes et Audio Fréquences, 02/1999
- [47]: Kollisionswarner an Bord – Air Traffic Detector ATC-200 von Monroy, Fliegermagazin, S. 26, 2/2003
- [48]: Kollisionswarnsystem auch für Kampfflugzeuge und Hubschrauber der Bw, Flugsicherheit, Oberstleutnant U. Fischer, LwRüst IV c, 01/2000
- [49]: Sehen und Gesehen werden, Aerokurier – PRAXIS, 1/98
- [50]: Meyer's Sicherheits Briefings, H. Meyer, Fürstenfeldbruck, 9/2002
- [51]: Military Collision Warning System – Abschlussbericht (CD-ROM), EADS Deutschland GmbH, 28.2.2002
- [52]: Neue Technologie zur Vermeidung von gefährlichen Begegnungen für Flugzeuge der AL, AEROMARKT, S. 29 (Produkt Fa. Euro Telematik AG), 01/2003
- [53]: Oft überschätzt: Die Leistung des Auges (Sehen will gelernt sein), aerokurier, 04/1996
- [54]: Portabler Warner – Kollisionswarngerät Monroy ATD-200, aerokurier, 2003
- [55]: Safety Study Mid-Air Collisions 1989-1999, BEA, 2000
- [56]: See and avoid, Flugsicherheit, M. Heß, LwA-AbtFISichhBw, II/2000
- [57]: See and avoid: The myth (Auszug aus Aircraft Safety), Shari Stamford Krause
- [58]: See and avoid: The reality (Auszug aus Aircraft Safety), Shari Stamford Krause

- [59]: Sinnesorgane, Auszug aus „Flugmedizin für Piloten“, Prof. Dr. med. M. Moser und Dr. med. P. Frank
- [60]: TAGA – Results of Flight Trials, Euro Telematik, DFS, Avionik Straubing, 25.10.2002
- [61]: Time to Impact and Angular Size for C-141, Head-On at Closure Rate of 910 Knots, Massachusetts Institute of Technology, Lincoln Laboratory, 10/1997
- [61]: Update on NTSB investigation into midair collision in Denver, Colorado, National Transportation Safety Board, Washington DC, 27.01.2003
- [63]: Verkehrssicherheit für die Allgemeine Luftfahrt, Fliegerrevue Special, 2/2003
- [64]: Vortrag 44. Fachausschusssitzung Antropotechnik, Langen Deutsche Flugsicherung, O. Reitenbach, 22./23.10.03
- [65]: Warum stoßen Flugzeuge in der Luft zusammen?, H. Meyer, Fürstenfeldbruck
- [66]: Zusammenstoß verhindern (Near Miss: sehen und gesehen werden), fliegermagazin / fliegerPRAXIS, 01/2003
- [67]: Zusammenstöße bei Sichtflügen, Flugunfallinformationen V 18, 08/1983
- [68]: Zusammenstöße von Segelflugzeugen, Flugunfallinformationen V 136, 08/1995
- [69]: Human Factors Aspects of Aircraft Accidents and Incidents AGARD, Reprint from Conference Proceedings No254
- [70]: ACAS/TCAS, Reflection 1/00, 1/2000
- [71]: Statistische und flugmechanische Untersuchungen zur visuellen Konfliktentdeckung und -lösung im Luftverkehr, Otto Weber, DFVLR Forschungsbericht 75-71, 1975
- [72]: Kollisionsverhütung im Luftverkehr - eine Systemanalyse unter besonderer Berücksichtigung transpondergestützter Bordsysteme mit selektiver Adressierung, Wolfgang Schroer, Dissertation TU Braunschweig, 1984
- [73]: Kollisionsschutz in der Luftfahrt (Teil II) - eine Studie für den Bundesminister für Verkehr, P. Form, A. Herber, K.-P. Berg, Institut für Verkehr, TU Braunschweig, 1986
- [74]: Untersuchungen von Bordkollisionsschutzsystemen für die internationale Zivilluftfahrt, A. Herber, ZLR-Forschungsbericht 91-02, Inst. für Verkehr, Eisenbahnwesen und Verkehrs-sicherung, TU Braunschweig, 1991
- [75]: Potential von Kollisionsschutzsystemen an Bord ziviler Flugzeuge Dirk Kügler, Verlag Shaker, ISBN 3-8265-0861-0, 1995

13. Abbildungs- und Tabellennachweis

Auflistung der verwendeten Abbildungen:

Abb. 1	Drei-Seiten-Ansicht einer ASW 28 [http://www.alexander-schleicher.de]	Seite 20
Abb. 2	Verteilung der Zusammenstöße und gefährlichen Begegnungen 1980 – 2002	Seite 24
Abb. 3	Unfälle und schweren Störungen 1980 – 2002, anteilig Zusammenstöße und gefährliche Begegnungen	Seite 25
Abb. 4	Anzahl der Zusammenstöße und gefährlichen Begegnungen zwischen 1980 und 2002	Seite 25
Abb. 5	Verteilung auf Ursachenkategorien für Zusammenstöße und gefährliche Begegnungen	Seite 27
Abb. 6	schematischer Längsschnitt des menschlichen Auges	Seite 37
Abb. 7	Bildkonstruktion am vereinfachten menschlichen Auge	Seite 37
Abb. 8	Verteilung von Zapfen und Stäbchen auf der Netzhaut	Seite 38
Abb. 9	Sichtwinkel und Zeit bis zum Zusammenstoß mit einem Militärflugzeug bei Annäherungsgeschwindigkeit von 520 km/h [Bundeswehr aus Flugsicherheit 5/88]	Seite 41
Abb. 10	Sehschärfeprüfung mit standardisierten Landoltringen	Seite 43
Abb. 11	Kontrastarmut (eigener Flügel rechts, zweites Flugzeug in Verlängerung des Flügels vor dem Schneefeld auf der Felskante)	Seite 46
Abb. 12	Funktionsprinzip von ADS-B und TIS-B	Seite 53
Abb. 13	Funktionsprinzip TCAS	Seite 58
Abb. 14	Grafische Darstellung der Lufträume in der Bundesrepublik Deutschland (Quelle: DFS)	Seite 64
Abb. 15	Sichteinschränkung durch nachgerüstete Elektronik im Segelflugzeug-Cockpit	Seite 78
Abb. 16	Sichteinschränkung durch Sonnenblenden in einem Motorflugzeug-Cockpit	Seite 78
Abb. 17	Verlauf von Seilbahnkabeln in der Schweiz	Seite 82
Abb. 18	Starke Außersichteinschränkung durch Reflexionen in der Cockpitscheibe	Seite 86
Abb. 19	Segelflüge in Europa (links) bzw. Deutschland (rechts) [Quelle: http://www.pfg.dk/termikanalyse/all_flights_EUROPE.htm]	Seite 88

Auflistung der Tabellen:

Tabelle 1	SSR-Modi	Seite 50
Tabelle 2	vorgeschriebene und empfohlene Transpondercodes in der BRD	Seite 50
Tabelle 3	Regelungen über den verpflichtenden Betrieb von ACAS [16]	Seite 52
Tabelle 4	technische Anforderungen an Zusammenstoß-Warnlichtanlagen nach JAR 23.1401	Seite 56
Tabelle 5	Einführungsdaten von Transpondern mit Mode S	Seite 56
Tabelle 6	Lufträume, in denen Transponder vorgeschrieben sind	Seite 57
Tabelle 7	Preisauflistung verschiedener Transponder (Stand: Januar 2004)	Seite 60
Tabelle 8	Einschränkungen der Betriebsbedingungen von Mode S - Transponder, die nach EUROCAE ED115 (LAST) bzw. EUROCAE ED37B (ELS), Class 2, zugelassen sind	Seite 61
Tabelle 9	Mindestbedingungen für die Nutzung der Lufträume in der Bundesrepublik Deutschland	Seite 65