

Kollisionen im Sichtflug

Kollisionen mit anderen Luftfahrzeugen oder statischen Hindernissen stellen eine der häufigsten Unfallursachen der Sichtfliegerei dar. Die Konsequenzen solcher Unfälle sind immer gravierend. Die meisten Kollisionen ereignen sich bei Tag und guten Sichtbedingungen. Wenn eine Kollision nur zu leichten Verletzungen führt, dann findet im Segelflug keine Untersuchung mehr statt. Oft werden solche Kollisionen durch die betroffenen auch nicht breit kommuniziert.

Jedes Jahr gibt es weltweit etwa 20 Kollisionsereignisse in der General Aviation. Bei jeder dritten Kollision ist mindestens ein Segelflugzeug beteiligt. Jeder zweite Beteiligte einer Kollision überlebt nicht. Zusammenstösse sind für etwa einen Drittel der Todesfälle im Segelflug verantwortlich und damit zweitwichtigste Unfallursache.

Beinahekollisionen („Near-Miss“) sind weitaus häufiger als Kollisionen. In vielen Fällen werden die Beteiligten nicht einmal festgestellt haben, dass es zu einer gefährlichen Annäherung gekommen ist. Die Dunkelziffer ist auch hier gross.

Faktor Mensch Limiten von „See and Avoid“

Im Flug sind Piloten immerzu durch Aufgaben wie Flugzeugführung, Navigation, Streckenoptimierung, Situationsbeurteilung, Funken, Essen usw. abgelenkt. Bordcomputer senken unsere verbleibende Aufmerksamkeit zusätzlich. Weitere menschliche Eigenschaften limitieren unsere Fähigkeiten, dem Prinzip „**See and Avoid**“ konsequent zu genügen. Selbst perfekte Piloten sind davon betroffen.

Unsere **optische Wahrnehmung** entsteht aus der Zusammenarbeit von Auge und Hirn. Das **Auge** ist ein optischer Sensor und verfügt über eine Auflösung von einer Bogenminute. Das entspricht einer 1/100 Daumenbreite eines ausgestreckten Arms. Damit ist unsere Fähigkeit limitiert, Objekte in grosser Distanz zu sehen. Zu vergleichen ist das mit einem Rumpfdurchmesser in 2 km Entfernung. Diese Auflösung weist das Auge nur im Zentrum auf, ausserhalb davon ist die Auflösung deutlich schlechter. Diese Angaben treffen nur auf das gesunde junge Auge bei guter Sicht und Beleuchtung zu.

Das **Hirn** erzeugt aus den Sensordaten, Erfahrungen und Erinnerungen einen **optischen Eindruck**. Wir haben das Gefühl, in jedem Bereich scharf zu sehen, was wir nicht wirklich tun. Pixelfehler des Sensors gleicht das Hirn aus. Jeder Mensch hat pro Auge mindestens eine Region mit fehlenden Pixeln (blinder Fleck). Oft kommen andere Defekte hinzu.

Das Hirn realisiert **Bewegungen**, d.h. schnelle Bildänderungen, gut. Langsame und stetige Änderungen, wie es oft Flugzeuge tun, welche sich auf Kollisionskurs bewegen, fallen uns nicht auf.

Unser Hirn kann sich **auf einzelne Objekte konzentrieren**, dabei werden jedoch andere Gefahren ausgeblendet.

Wir verlassen uns gerne auf **Bekanntes**. Es braucht eine grosse Anstrengung, das **Unbekannte** trotzdem zu suchen. Wer hat nicht schon nach längerem Fliegen ohne andere Flugzeuge in der näheren Umgebung ein neues Flugzeug entdeckt und angenommen, nun alle Flugzeuge in der Nähe zu kennen?

Unser Hirn lässt sich hervorragend **ablenken**. Eine kleine Störung kann dazu führen, dass wir wichtige Dinge aus dem **Kurzzeitgedächtnis** löschen. Eine Ablenkung, z.B. kurz auf die Instrumente kucken, kann mich ein anderes Flugzeug, das ich kurz vorher schon unbewusst wahrgenommen habe, vergessen lassen.

Eine konsequente, systematische und effiziente Luftraumüberwachung durch den Piloten ist von grosser Bedeutung. Sie stellt das Grundprinzip der Kollisionsvermeidung in VFR dar. Aber der beste Pilot ist nicht in der Lage, in jeder Situation dem Prinzip „See and Avoid“ ohne Einschränkungen zu genügen.

Die Kollisionswahrscheinlichkeit erhöht sich weiter durch die Tatsache, dass sich die Fliegerei nicht frei in einem dreidimensionalen Raum abspielt. Flughäfen, zwingende oder offensichtliche Navigationspunkte, Luftraumgrenzen, Aufwinde und Aufwindstrassen, Hänge und lokale Attraktionen sowie eine GPS-bedingte punktgenaue Flugführung führen zu einer Ungleichverteilung der Luftraumdichte.

Technische Massnahmen

Wenn wir fliegen und Zusammenstösse nicht als ein akzeptables Risiko annehmen wollen, müssen wir mit geeigneten Massnahmen Abhilfe schaffen.

Die Konsequenzen, welche eine Kollision nach sich zieht, können gemässigt werden. Dazu gehören **Kappmesser** gegen Kabel, **Rettungssysteme** und **ELT's**. Die Prioritäten müssen aber in der Verhinderung einer Kollision liegen. Es genügt, wenn einer der Kollisionspartner seinen Weg so ändert, dass die Kollision umgangen wird.

Flugzeuge sollen so beschaffen sein, dass sie optisch auffallen. Da die Form der Flugzeuge weitgehend von aerodynamischen Anforderungen bestimmt ist, limitieren sich die Möglichkeiten erheblich. Die **Farbgebung** kann helfen, ein Flugzeug früher zu erkennen. Da allerdings der Hintergrund aus Sicht des Betrachters sämtliche Möglichkeiten annehmen kann (z.B. Boden, Fels, Himmel, Gletscher), lässt sich keine optimale Farbgebung bestimmen. Allerdings sollte ein Flugzeug nicht aus einer einzigen Farbe bestehen. Strukturelle Eigenschaften der im Segelflugzeugbau verwendeten Materialien limitieren die Möglichkeiten, das Flugzeug beliebig farbig zu gestalten. Es ist zulässig und lohnt sich in jedem Fall, die Enden der Extremitäten mit intensiver Farbe zu markieren (Flügelende, Rumpfbug, Seitenleitwerk). Die Kosten sind gering. Zusätzliche Farbmarkierungen brechen Konturen und wirken als Tarnung.

Blitzlichter helfen, die Aufmerksamkeit auf sich zu lenken. Möglich sind Blitzlichter durch **Strobelights** oder durch **Spiegelfolien**. Letztere erzeugen ab und zu eine kurze Reflexion der Sonne, was als Blitzlicht wahrgenommen wird. Strobelights müssen fest montiert werden, was eine Zertifizierung bedingt. Sie ändern das aerodynamische Verhalten des Flugzeugs und brauchen Strom. Ihre Abstrahlung ist beschränkt auf einen kleinen Bereich, was den Einbau mehrerer Lichter erfordert. Die Wirksamkeit von Blitzlichtern am Tag ist limitiert. Solche Systeme sind für den Segelflug mässig geeignet.

Transponder

Passive Sensoren, welche die Signalstärke von Transpondern anderer Luftfahrzeuge auswerten und so eine grobe Distanzortung machen, sind heute kommerziell ab CHF 1'200.- verfügbar. Wenn der Distanzfehler auf etwa 25% limitiert bleiben soll, müssen externe Antennen angebracht und vermessen werden. Da die meisten Transponder die Höhe mitliefern, kann so auch die Höhenseparation festgestellt werden. Eine Richtungsortung ist nicht möglich. Das Mitführen eines eigenen Transponders ist nicht notwendig, das andere Flugzeug muss aber damit ausgerüstet sein, d.h. eine Autonomie besteht nicht. Komplexere Systeme sind in der Lage, aus dem eigenen und anderen Transpondersignalen eine grobe Richtungsortung vorzunehmen. Ein eigener Transponder ist dann notwendig.

Derartige Systeme funktionieren nur dann, wenn sich das Flugzeug an einem Ort bewegt, an welchem ein Radar eine Transponderantwort auslöst. Gerade im Alpenraum dürfte das oft nicht der Fall sein. Solche Systeme warnen unabhängig des Gefährdungspotentials. Für den europäischen Segelflug dürften solche Systeme auch bei einer grossen Verbreitung von Transpondern kaum Vorteile bringen.

Ein ähnlicher Ansatz wurde von Klaus Porod verfolgt und 2001 präsentiert. Dabei wurden nicht Transpondersignale, sondern ein spezieller **RF-Puls** verwendet, welcher das Gerät selbst ausstrahlt und anderen Luftbenutzern eine Ortung über die Signalstärke erlaubt. Das Gerät wertet die empfangenen Pulse anderer Geräte über mehrere Antennen aus und kennt so die Distanz und Richtung. Die Anzeige erfolgt über kreisförmig angeordnete LED's. Das Prinzip ist vergleichbar mit Lawinenschüttelensuchgeräten („Barryvox“). Das Projekt wurde aufgrund des geringen Nutzens eingestellt, der sich durch die geringe Reichweite und die unselektive Warnung ergab.

Aktive Sensoren suchen die Umgebung nach vorhandenen Hindernissen ab und warnen den Piloten. Es ist so möglich, vor fixen Hindernissen (z.B. Kabeln), vom Gelände und vor anderen Luftfahrzeugen zu warnen. Solche Geräte funktionieren über eine aktive Ausstrahlung und Messung der Reflexion von **Ultraschall**, **Laser** oder **Mikrowellen**. Die Vorteile liegen in der autonomen Funktionsweise. Kommerziell verfügbare Systeme bedingen eine aufwändige, meist externe Montage, benötigen verhältnismässig viel Energie und sind teuer. Sie sind vor allem für Hubschrauber attraktiv. Aufgrund der Entwicklungen im Automobilbau (Fahr- und Parkhilfen über Abstandsmessungen) werden hier Systempreise deutlich fallen.

Eine geeignete Flugtaktik kann insbesondere am Hang die Wahrscheinlichkeit, mit festen Hindernissen zu kollidieren, deutlich reduzieren. Nicht-motorisierte Luftfahrzeuge sind aber auf Aufwinde in Hangnähe angewiesen. Eine Abschätzung des akzeptablen Risikos ist hier Bestandteil der Flugtaktik. Feste Hindernisse sind in den meisten Ländern erfasst. Geeignete Geräte können solche Daten im Cockpit mitführen, darstellen und vor Annäherungen geeignete Warnungen aussprechen. **PDA's** und **Moving Maps** – an ein GPS angeschlossen – eignen sich für die Darstellung, Berechnung und das Speichern. Sofern die Objekte vollständig kartiert sind und die Datenbank entsprechend aktualisiert wird, kann mit geringem Hardwareinsatz ein grosser Sicherheitsgewinn erzeugt werden. Solche Systeme werden zunehmende Verbreitung finden. Die Funktionsweise ist autonom. Im Hangflug dürfte es allerdings wenig nützen, Warnungen wegen der konstant geringen Hangnähe auszusprechen.

Im kontrollierten Luftraum wird – je nach Luftraumklasse – die Kollisionsfreiheit weitgehend durch zentrale Datenbeschaffung und zentrales Konfliktmanagement sichergestellt. Kontroller erhalten über **Funk, Primär- und Sekundärradar (SSR)** unterschiedlich verlässliche Informationen über Positionen, Höhen, Flugrichtungen und Absichten der Luftraumteilnehmer. Für VFR-Piloten ist es wichtig zu wissen, dass wir uns fast immer im kontrollierten Luftraum aufhalten, dazu aber meistens keine Bewilligung benötigen (Luftraum E). Hier fliegen IFR- und VFR-Verkehr gemischt und ohne Staffelung.

Kontroller werden durch zentrale und automatische Systeme in ihrer Arbeit unterstützt, zumal sie unter Stress hochkomplexe, sich ändernde Zustände überwachen, aber gleichzeitig ökonomisches Flowmanagement sicherstellen müssen. Ihre Datengrundlage ist weder besonders genau noch aktuell. Die durch die Besetzung eingegebenen Codes (**Mode A**) eines **Transponders** erlauben dem Kontroller, die Primärechos des Radars mit Richtungs- und Distanzinformationen zusätzlich einzelnen Flugzeugen zuzuordnen, weil der Transponder auf jede Abfrage des Primärradars (Polling) mit dem Code antwortet. Im **Mode C** sendet der Transponder die barometrische Höhe. Meist werden die beiden **Modes A/C** gemeinsam betrieben.

Transponder der Modi A/C sind heute weitgehend vorgeschrieben, für Segelflieger und Hängegleiter bestehen allerdings Ausnahmen. Der Einflug in viele Lufträume ist heute ohne Transponder nicht mehr zulässig oder die Freigabe wird nicht mehr erteilt. **TMZ** (Transponder Mandatory Zones) breiten sich aus. Es ist anzunehmen, dass in 10 Jahren die meisten Flugzeuge mit einem Transponder ausgerüstet sein müssen, weil nur noch so überhaupt ein akzeptabler Luftraumanteil genutzt werden kann. Ein anderer Nutzen besteht nicht. Transponder benötigen relativ viel Strom, beanspruchen Platz, bedingen den Einbau einer externen Antenne und kosten mit Einbau und Zertifizierung über CHF 3'000.-

Transponder selbst verfügen nicht über die Fähigkeit, Pollings durchzuführen. Allerdings können Drittsysteme ausserhalb des Transponders mithören, was die verschiedenen Transponder in der Nähe auf ein Polling antworten. Daraus lässt sich ableiten, wer sich wo in der Nähe aufhält und wer eine potentielle Gefahr darstellt. Ein grosser Nutzen dürfte daraus für den Segelflug nicht entstehen. Namentlich lassen sich daraus kaum Daten gewinnen, um Kollisionen zwischen einzelnen Segelflugzeugen zu verhindern.

Um die um Verkehrsknotenpunkte häufigen Systemüberlastungen der Sekundärradar / Transponder-Systeme zu reduzieren, wurde ein Transponder **Mode S** geschaffen, der eine selektive Abfrage zulässt (**Short Squitter**), d.h. nicht auf jedes Radarpolling antwortet, sofern die Bodenstationen auch auf Mode S umgestellt sind. Jeder Transponder hat dabei eine feste und weltweit eindeutige Nummer zugewiesen. Erst seit anfangs 2004 sind Mode S Transponder verfügbar, welche sich auch für Kleinflugzeuge eignen. Die oben genannten Details zu Grösse, Stromverbrauch, eigener Nutzen, Einbau und Kosten gelten analog. Mode S Transponder werden vor Ende dieses Jahrzehnts weitgehend vorgeschrieben sein, wenn man sich im kontrollierten Luftraum bewegen will.

In die Antwort eines Mode S Transponders lassen sich prinzipiell zusätzliche Informationen einbinden, welche die Informationslage des Kontrollers verbessern könnten (z.B. GPS-Position, Geschwindigkeitsvektor, Flugabsicht). Dieser Datenlink nennt sich **Extended Squitter**. Es ist nicht anzunehmen, dass segelflugtaugliche Mode S Transponder in absehbarer Zeit diese Datenlinkfähigkeit eingebaut haben.

Situation für Kleinaviatik heute

Kommerziell betriebene Flugzeuge verfügen über einen bordeigenen Radar, welcher die Transpondersysteme in der Nähe antworten lässt. Der Einbau der verschiedenen Antennen erlaubt es, die anderen Transponder relativ zu orten. Das Höhensignal ist vom Mode C her vorhanden. Eine geeignete Darstellung macht es so möglich, den Piloten eines derart ausgerüsteten Flugzeugs vor Verkehr zu warnen und Ausweichempfehlungen abzugeben. Solche Systeme werden von der ICAO **ACAS** (Airborne Collision Avoidance System) genannt (in den USA **TCAS**). Sie bedingen beim anderen Flugzeug einen Transponder. Falls das andere Flugzeug ebenfalls mit einem ACAS ausgerüstet ist, so sprechen sich die beiden Flugzeuge über einen Mode S Transponder ab, so dass durch das Ausweichen keine neue Gefährdung entsteht. ACAS-Systeme zeichnen sich durch viele Alarme und Fehlalarme in dicht beflogenen Gebieten aus, sodass Piloten dann dieses System oft abschalten.

Ein ACAS kann nicht in einem Kleinflugzeug eingebaut werden. Der Vorteil von ACAS liegt darin, dass es ausreicht, wenn die anderen Flugzeuge mit normalen Transpondern ausgerüstet sind. ACAS ist allerdings nicht geeignet, eine grössere Zahl von sich auf segelflugtypischen Flugbahnen bewegendem Segelflugzeugen korrekt zu verarbeiten.

Die Vorhersage der zukünftigen Bewegung funktioniert bei kommerziellen Grossflugzeugen zuverlässig, da meist ohne Richtungsänderung geflogen wird. Kleinflugzeuge, sowie im Besonderen alle auf externe Energiequellen angewiesene Luftraumbenutzer (Hängegleiter, Segelflugzeuge), ändern hingegen den Kurs und die Höhe rasch und unerwartet. Die so nur sehr kurzfristig mögliche Positionsvoraussage sowie die grosse Benützungsdichte von Kleinflugzeugen bringen ACAS-Systeme rasch an deren Grenzen. ACAS ist nicht praktikabel, um einen Mischverkehr grosser Dichte und anderer Bewegungsmuster zuzulassen. Entsprechend werden die verschiedenen Luftraumteilnehmer örtlich separiert.

Die Flugfunk-Übertragung ist langsam, oft von Rauschen begleitet, die Verständigung schlecht, es kann immer nur jemand sprechen und lokale Sprachen verhindern das Verstehen durch Mithörende. Die heutigen Funktechnologien werden durch digitale Datenübermittlungen (z.B. **VDL** = VHF Data Link) ergänzt, später abgelöst. Über solche Kanäle können sich alle Luftraumbenutzer gegenseitig die wichtigsten Daten mitteilen. So kann beispielsweise die GPS-Position und der Bewegungsvektor lokal hochgenau ermittelt und kommuniziert statt bodenseitig in einer groben Näherung gefunden werden. Ein Beispiel einer solchen digitalen Datenübermittlung ist VDL Level 4. Diese Systeme sind aber heute noch weit von einer globalen Einführung entfernt und werden sich preislich an der kommerziellen Luftfahrt orientieren.

Die automatische Blindausstrahlung lokal ermittelter Positionen heisst **ADS-B** (Automatic Dependent Surveillance Broadcast). Derzeit sind weltweit drei solche inkompatible Systeme im Aufbau, die beiden oben erwähnten **Mode S Extended Squitter** und **VDL Level 4**, sowie **UAT**.

Heute existieren keine Systeme, welche das Kollisionsrisiko zwischen Kleinflugzeugen signifikant reduzieren, aber dennoch bezahlbar sind und eingebaut werden können.

Unabhängig davon werden allerdings aufgrund der Anforderungen der kommerziellen Aviatik und der Controller Mode S Transponder im kontrollierten Luftraum mitgeführt werden müssen, um überhaupt noch darin fliegen zu können. Transponder bringen uns nur insofern Vorteile, als dass ACAS-ausgerüstete kommerzielle Flugzeuge uns rechtzeitig sehen werden, sofern wir uns überhaupt in denselben Lufträumen aufhalten dürfen. Kollisionen von Kleinflugzeugen untereinander werden damit in absehbarer Zeit aber nicht verhindert.

Diese Situation ist unbefriedigend. Für die Kleinfliegerei besteht das akute Bedürfnis nach einem kostengünstigen, kleinen und wenig Strom brauchenden System, welches effizient und geeignet vor gefährlichem Verkehr warnen kann und so den Piloten bei seiner Luftraumbeobachtung optimal unterstützt.

Seit mit 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. Die Technologie steht heute bereit.