

aerokurier 4/96

## Sehen will gelernt sein / Teil 1 \_\_\_\_\_

# Oft überschätzt: Die Leistung des Auges

von Gerhart Berwanger

**"Sehen und gesehen werden" ist der simple Grundsatz zur Vermeidung von Zusammenstößen im Sichtflugverkehr. Daß dies nicht immer so einfach funktioniert, zeigt die erschreckende Unfallstatistik des vergangenen Jahres. Deshalb soll hier einmal aufgezeigt werden, was wir überhaupt sehen können, wo die Grenzen des Sehens liegen. In Teil 2 geht es dann ums richtige Verhalten.**



Mußte Günter Grönhoff aus seinem Fafnir noch durch seitliche Löcher im Sperrholz spähen, so bieten die modernen Segelflugzeuge geradezu einen Panoramablick. Damit ist nicht nur eine Rundum - Luftraumbeobachtung möglich, auch das Seherlebnis der weiten Landschaft aus der Vogelperspektive erschließt sich dem Piloten in seiner ganzen Schönheit.

Aber sehen wir wirklich wie ein Vogel? Erkennen wir wirklich alle Gefahren richtig und rechtzeitig, die sich uns in diesem weiten Blickfeld nähern? Wie könnte es dann noch zu Zusammenstößen kommen?

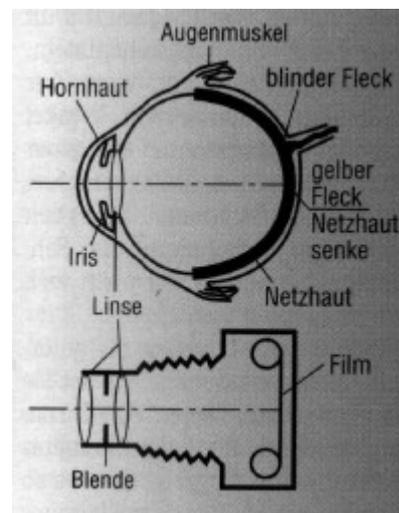
Wohl jeder Vielflieger kann von Schrecksekunden berichten, in denen er plötzlich ein anderes Flugzeug sah, dessen Annäherung er nicht wahrgenommen hatte, obwohl es nicht aus dem vielzitierten "toten Winkel" kam. Es ist eben einfach nicht wahr, daß wir ständig ein vollkommenes, farbiges, räum-

liches, kontrast- und konturen-scharfes weitwinkliges Bild aufnehmen und verwerten. Wir haben allerdings den Eindruck, daß das so ist und das ist ein Irrtum, der gefährlich werden kann.

Sehen ist ein höchst komplexer Vorgang, der sich in erster Linie nicht im Auge, sondern im Gehirn abspielt. Wir sehen nicht mit den Augen, sondern durch die Augen. Diese Leistung unseres Gehirns muß erlernt und eingeübt werden. Das geschieht in frühester Kindheit. Aber für jede neue Lebenssituation muß nachgelernt werden, und das gilt ganz besonders dann, wenn sich so völlig neue Perspektiven eröffnen wie beim Fliegen.

Es lohnt sich deswegen für jeden Flieger, sich mit dem komplizierten Vorgang der visuellen Wahrnehmung näher zu beschäftigen und ihn verstehen zu lernen.

Die Augen entsprechen einer Stereokamera - **Bild 1** zeigt diese Analogie. Die durch Verdicken oder Verdünnen verstellbare Linse können wir bei kurzen Entfernungen genau einstellen und erhalten eine scharfe Abbildung auf der Netzhaut. Neben dem Ausrichten des



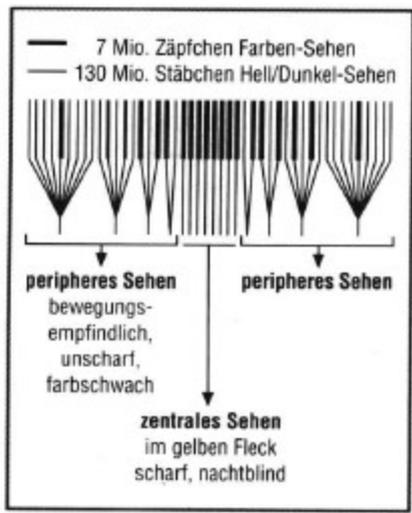
**Bild 1: Auge und Kamera im Vergleich. Vieles haben sie gemeinsam, so "Zoomobjektiv" und lichtempfindliche Schicht.**

ganzen "Kameraapparates" durch Kopfbewegung, vergleichbar dem Kameraschwenk des Fotografen, erlauben die Augenmuskeln zusätzlich schnelle kleine Bewegungen, sichtbar als Pupillenbewegung. Warum ist sie notwendig?

### Nur innen scharf, außen dafür empfindlicher

Die Netzhaut ist nicht gleichmäßig aufgebaut, sondern hat die im **Bild 2** schematisch dargestellte Struktur. Es gibt zwei Arten von Rezeptoren: die farbempfindlichen Zäpfchen und die nur hell-dunkelempfindlichen Stäbchen. Im Zentrum sind überwiegend Zäpfchen angeordnet, die Stäbchen nehmen zum Rand hin zu. Zäpfchen brauchen starke Lichtreize, deswegen erkennen wir in der Dämmerung weniger Farben, in der Nacht sind nur Hell-Dunkel-Unterschiede sichtbar. Im Zentrum, dem sogenannten gelben Fleck, sind die Zäpfchen besonders dicht angeordnet, und es gibt keine Stäbchen.

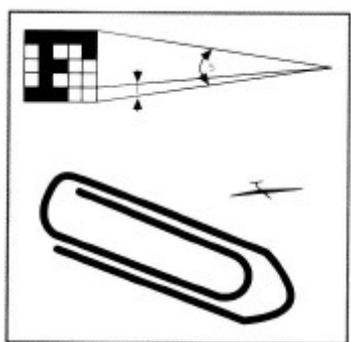
Die Mitte unseres Blickfeldes ist nachtblind, und am Rande sind



**Bild 2: Aufbau der Netzhaut mit lichtempfindlichen Zellen.**

wir farbschwach. Wo die Sehnerven gebündelt durch die Augenhinterwand geführt werden, gibt es keine Rezeptoren, wir haben einen blinden Fleck - wir sehen dort nichts.

Aber noch nicht genug der Unvollkommenheit. Nur im gelben Fleck meldet jede einzelne Sehzelle über eine Nervenfasern ihre Information an das Gehirn. Weiter außen sind immer mehr Sehzellen zu einer Nervenleitung zusammengeschaltet. Nur im Zentrum wird größte Sehschärfe erreicht. Am Rand nimmt die "Korngröße des Films" zu, das Bild wird unschärfer.



**Bild 3: Dieses Bild aus 1 m Entfernung betrachtet, gibt die Größe eines 2 km entfernten Segelflugzeugs wieder.**

Scharf sehen zu können, scheint uns die wichtigste Fähigkeit unseres Auges zu sein. Der Fliegerarzt prüft sie anhand von Buchstabentafeln. Die Sehschärfe ist gut, wenn wir Buchstaben unter einem Winkel von fünf Bogenmi-

nuten mit einer Strichstärke von einer Bogenminute sicher erkennen können. Krankheit oder Alter vermindern die Sehschärfe. Darauf soll hier nicht weiter eingegangen werden.

**Bild 3** zeigt ungefähr die geforderte Mindestsehschärfe. Halten Sie das Bild einen Meter von Ihrem Auge entfernt. Ein zwei Kilometer entferntes Segelflugzeug ist etwa so klein zu sehen. Die Büroklammer gibt den Größenvergleich.

### Unbewußt lassen wir die Pupillen rastlos wandern

Diese Sehschärfe gibt es aber nur im Zentrum des Blickfeldes, in einem Bereich, der etwa dem Strahl einer Taschenlampe entspricht, wir müssen schon hinsehen, wenn wir scharf sehen wollen. Rundherum ist alles unscharf, verschwommen, farblos.

Wie kommt es aber, daß wir das gar nicht als Mangel empfinden, sondern den Eindruck haben, unsere gesamte Umgebung als konturenscharfes Bild aufzunehmen?

Folgt man der Bewegung unserer Pupillen, so stellen wir fest, daß die Augen rastlos wandern, sich ständig unregelmäßig, völlig unsystematisch bewegen. Nur durch die Zusammensetzung einer Unzahl kleiner, scharfer Bilder wird in unserem Sehgehirn das kontrastscharfe Gesamtbild erzeugt. Auch die aufgenommenen Farbinformationen werden gespeichert und wieder beigemischt, so daß für uns auch die Farbschwäche im Randbereich nicht erkennbar ist.

Beim Sehen spielt also offenbar nicht nur die Qualität der "Kamera" eine Rolle, sondern auch die "Kameraführung" und die Verarbeitung der aufgenommenen Lichtinformationen im angeschlossenen "Computer", unserem Gehirn.

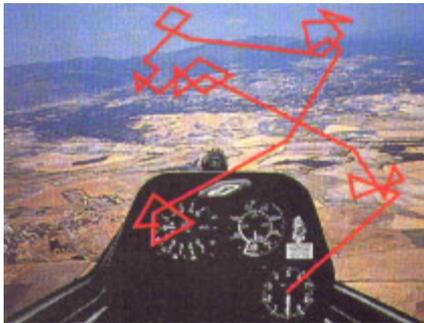
Das geschieht in zwei Verarbeitungsstufen im Zwischenhirn und Großhirn. Die Vorauswertung im Zwischenhirn sorgt dafür, daß nur die für uns wichtigen Bildinformationen zur Endverarbeitung ins

Großhirn weitergegeben werden. Diese Ausfilterung ist ein erlernter und trainierbarer Vorgang. Auch die Blicksteuerung erfolgt reflexartig unter Kontrolle des Zwischenhirns. Es führt den Blick stets zu den wichtigen Informationen. Die Augen irren also durchaus nicht unsystematisch umher, sondern werden sehr konsequent so geführt, daß sehr schnell ein Gesamtbild mit allen wichtigen Informationen entsteht. Diese "chaotische" Blickführung ist höchst effizient und jedem systematischen Abtasten, dem in der Technik üblichen "Scannen" haushoch überlegen. Wir müssen aber gelernt oder erfahren haben, was wichtig oder unwichtig ist.

Daß Blickführung erlernt oder eingeübt werden muß, ist in der Flugausbildung von größter Bedeutung. Untersuchungen im Straßenverkehr haben gezeigt, daß der Fahrschüler einen "Stotterblick" hat. Er steuert sein Auge noch nicht reflexartig zu allen wichtigen Informationen, sondern hält sich zu lange an einem einzelnen Punkt fest, um dann unsicher weiter zu springen und dort zu verharren.

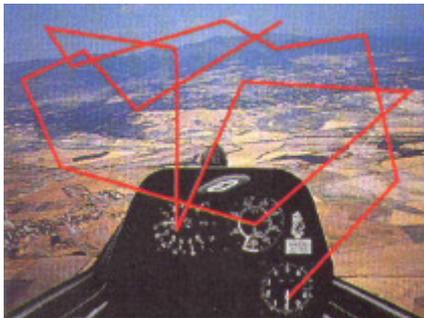
**Bild 4** zeigt die Blickführung eines unerfahrenen Flugschülers. Er beachtet zunächst den rechts liegenden Flugplatz, springt auf Mahnung seines Fluglehrers zum Horizont, verharrt dort, ohne den Luftraum weiter zu beobachten, springt dann zu dem rechts fliegenden Segelflugzeug, und auf den Hinweis "Fahrt!" lenkt er den Blick auf das Instrumentenbrett und bleibt nun am Fahrtenmesser kleben. Hier wird sein Sehgehirn noch kein wirklich gutes Gesamtbild mit allen für ihn wichtigen Informationen zusammensetzen können. Dieser Flugschüler sieht wie durch eine Röhre immer nur einen einzelnen Sachverhalt.

## Das dem Fliegen angepaßte Sehen muß erlernt werden



**Bild 4:** Der Stotterblick des unerfahrenen, sehunsicheren Flugschülers verharrt zu lange an einzelnen Checkpunkten.

Erst mit zunehmender Erfahrung bildet sich der dynamisch gleitende Blick des erfahrenen



**Bild 5:** Der Blick des seherfahrenen Piloten erfaßt die Umgebung dynamisch gleitend. Die Blickführung geschieht dabei unbewußt.

Fliegers heraus, wie er im **Bild 5** dargestellt ist. Ohne die Blickführung bewußt zu steuern, gleitet das Auge über alle wichtigen Erscheinungen im Landschaftsbild, im Luftraum, im Wettergeschehen und bezieht auch das Instrumentenbrett mit ein, ohne ständig darauf zu verharren. Entspannt nimmt der Pilot ein umfassendes Bild seiner Umwelt auf.

Die ständige Blickwanderung bedeutet nicht nur Pupillen-, sondern auch Kopfbewegung. Man kann aus dem hinteren Sitz beobachten, wie der erfahrene Pilot den Kopf in kurzen Abständen systemlos, ruckartig leicht bewegt. Beim Anfänger fehlt das, er muß es noch lernen.

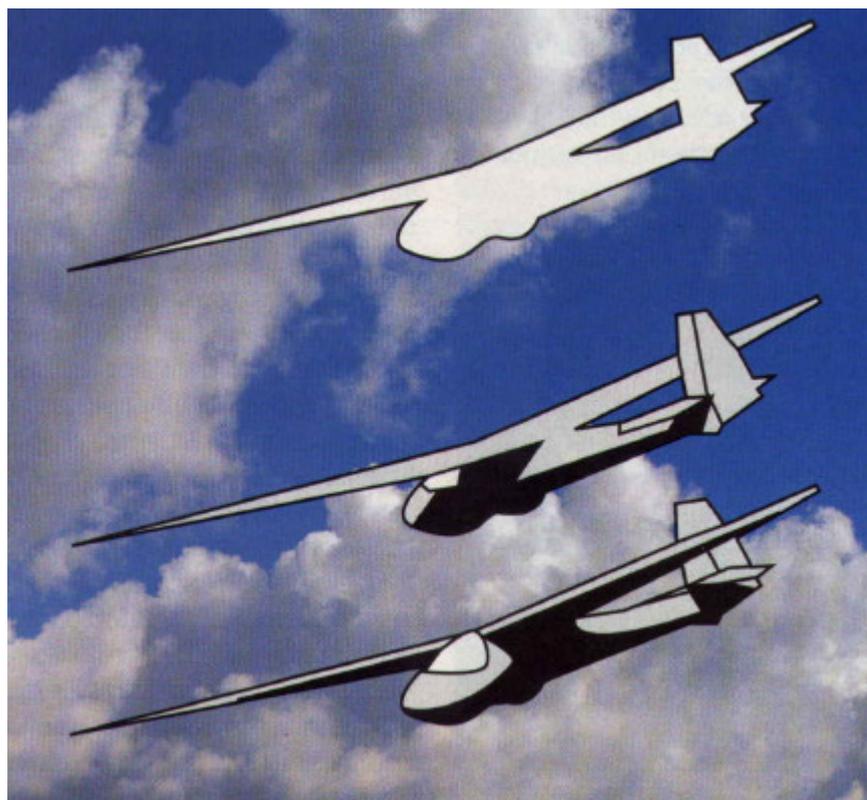
Ermüdung, Krankheit und Alter können diese Fähigkeit stark beeinträchtigen, kritische Selbstbeobachtung ist angezeigt. Die größte

Leistung unseres Sehens vollzieht sich aber weder im Auge, noch im Zwischenhirn, sondern in der Großhirnrinde. Ein Quadratmillimeter Netzhaut wird etwa von 10'000 Quadratmillimetern Großhirnrinde "bedient". Die Leistung dieses "Videocomputers" kann hier nur an einigen für den Flieger wichtigen Beispielen verdeutlicht werden.

Um die aufgenommenen Informationen richtig zu interpretieren, das Gesehene zu erkennen, ist es notwendig, die Wahrnehmung mit Bekanntem zu vergleichen, mit früheren Wahrnehmungen, die wir uns gemerkt haben. Nun wird aber praktisch nie exakt das gleiche Bild in Größe, Farbe und Lage nochmals vor uns erscheinen. Deswegen haben wir die Fähigkeit entwickelt, Grundstrukturen der wahrgenommenen Gegenstände zu er-

schriften noch problemlos lesen kann. Diese Fähigkeit der "Gestalterkennung" ist noch von keinem Computer erreicht. Probleme gibt es, wenn die aufgenommene Information nicht ausreicht und deswegen falsch interpretiert wird.

Decken Sie in **Bild 6** zunächst die beiden unteren Flugzeuge ab, und betrachten Sie nur den oberen Schattenriß. Wir erkennen unschwer ein Segelflugzeug. Fliegt es auf Sie zu oder von Ihnen weg? Die richtige Beurteilung kann lebensentscheidend sein. Dazu brauchen wir mehr Informationen. Im unteren Teil sind beide Varianten dargestellt, sie unterscheiden sich durch die Schattenverteilung. Für die richtige Interpretation sind also oft kleinste zusätzliche Informationen wichtig. Das aber ist nur durch ausreichend scharfes Sehen möglich. Die Fähigkeit der Gestal-



**Bild 6:** Decken Sie die beiden unteren Flugzeuge ab. Wohin fliegt das obere? Die Übung zeigt, wie schnell falsche Schliisse gezogen werden können.

kennen und wiederzuerkennen. Am deutlichsten wird das am Beispiel des Schriftlesens. Der Abc-Schütze kann mit Mühe den Druckbuchstaben U vom V unterscheiden, der Erwachsene hat sich die Grundstrukturen so eingepägt, daß er selbst unterschiedlichste Hand-

terkennung wird durch Seherfahrung entwickelt und kann durch bewußtes Sehen ständig verbessert werden.

Beim Erkennen anderer Luftfahrzeuge vor "tarnendem Hintergrund" ist diese Fähigkeit besonders gefragt. Weiße Segelflug

zeuge vor der Fels- und Schneelandschaft des Hochgebirges sind dafür ein Beispiel. Der erfahrene Gebirgsflieger wird sie eher sehen als der Alpenneuling.

### **Ein Superweitwinkel, aber zum Erkennen ist hinzusehen**

Das Sehfeld des menschlichen Auges umfaßt einen Winkel von etwa 210 Grad, jedoch nur der mittlere Teil, etwa 60 Grad, wird von beiden Augen gesehen. Nur hier findet das durch die Augenbewegung, die Blickführung gelenkte, zentrierte Scharfsehen statt.

Außen im peripheren Sehfeld sehen wir nur mit je einem Auge. Die Netzhaut liefert hier kein scharfes Bild, sondern verschwommene optische Informationen. Aber dieser Bereich ist dem Zentrum in einer Beziehung wesentlich überlegen. Wir können Bewegungen im peripheren Blickfeld besser und sicherer erkennen. Wie kommt das? Die Nervenfasern mehrerer Sehzellen werden zusammengeführt (Bild 2). Ein sehr schwacher Lichtreiz oder eine leichte Reizveränderung, ausgelöst durch eine Bewegung, reicht vielleicht nicht aus, um einen so starken Impuls in den Nervenstrang zu geben, daß dieser weitergeleitet wird. So gehen schwache Impulsänderungen im zentralen Bereich verloren. Im peripheren Bereich addieren sie sich beim Zusammenlaufen in einem Nervenstrang zu einem stärkeren Impuls, der

weitergeleitet wird. Die Bündelung der Sehnerven im peripheren Bereich führt also zwar zu einer Unschärfe des Bildes, aber zu der Fähigkeit, auch schwächste Änderungen wahrzunehmen.

Dies ist ein wichtiger natürlicher Schutzmechanismus, entwickelt in grauer Vorzeit, als es noch notwendig war, das sich anschleichende Raubtier rechtzeitig zu sehen. Das periphere Auge meldet eine Bewegung, das Zwischenhirn erkennt sie als wichtig, die Blickführung wird reflexartig auf die Bewegung gelenkt, mit scharfem Blick wird die Gefahr erkannt. Dieser Ablauf sitzt so in uns, daß wir uns kaum dagegen wehren können, wir sollten es auch nicht.

Im Gegenteil, gerade als Flieger müssen wir diese Fähigkeit des peripheren Sehens, der Gefahrenerkennung aus dem gesamten Blickfeld hoch schätzen und wenn möglich entwickeln und unterstützen.

Beide Augen geben uns zusammen das weite Blickfeld, das für die rechtzeitige Erkennung von Gefahren so wichtig ist. Benötigen wir aber nicht auch beide Augen, um räumlich zu sehen, um unsere Bewegung im dreidimensionalen Raum richtig aufzunehmen? Das ist keineswegs so.

Nur auf kurze Entfernungen, maximal einhundert Meter, sehen wir räumlich nach dem stereoskopischen Prinzip, durch die Unterschiede der von beiden Augen aufgenommenen Bilder. Das spielt

in der Fliegerei allenfalls eine Rolle innerhalb des Cockpits.

Die Raumwahrnehmung des Piloten funktioniert in erster Linie nach dem perspektivischen Prinzip. Nahe Gegenstände sind groß, entfernte klein, Beispiel: Telegraphenmasten. Linien laufen in der Ferne aufeinander zu, Beispiel: Bahngleise. Entfernte Gegenstände werden von den näheren verdeckt, Beispiel: Wolkenhimmel. Das perspektivisch räumliche Sehen ist wie die Gestalterkennung also in erster Linie ein Ergebnis der Seherfahrung, des lebenslangen Lernens. Räumliche Lage der Anflugbahn, Bahnneigung und seitliche Ablage zur Grundlinie erkennt der erfahrene Pilot sicher, der Anfänger hat damit seine Schwierigkeiten. Er muß noch Seherfahrung sammeln und speichern. Das ist mit dem weiten Blickfeld zweier Augen sehr viel einfacher. Die Umsetzung der Erfahrung kann dann auch mit einem Auge erfolgen, denn wir müssen ja nicht stereoskopisch sehen. Verständlich also, daß der Einäugige nicht zur Flugausbildung zugelassen wird, während der erfahrene Pilot, der ein Auge verliert, flugtauglich bleibt.

Sehen, die wichtigste Wahrnehmung des Piloten, ist ein vielschichtiger, ein faszinierender Vorgang. In der zweiten Folge soll auf die Analyse konkreter Situationen und auf praktische Nutzenwendungen eingegangen werden.

---

Ende Teil 1