

Aus dem Fliegerärztlichen Institut der Abteilung für Flugwesen und Fliegerabwehr
(Chefarzt: P.-D. Dr. K. WIESINGER)

Die Raumorientierung des Menschen beim Fliegen

Von

KLAUS WIESINGER

(Vortrag gehalten am 26. Januar 1953 in der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich)

I. Einleitung

Zur Orientierung im dreidimensionalen Raum bedient sich der Mensch vorwiegend seiner Sinnesorgane. Wir haben uns deshalb vor allem mit den Leistungen unserer Sinne, deren Begrenzung und mit den Täuschungen, denen sie unterworfen sein können, zu beschäftigen.

Unsere Sinne werden uns bei der Geburt nicht vollständig entwickelt mitgegeben. Der Säugling lernt z. B. das räumliche Sehen durch die Erfahrungen, die ihm der Tastsinn vermittelt. Die Erfahrungen der Generationen und diejenigen des Individuums sorgen für eine bestmögliche Anpassung an das Leben auf der Erdoberfläche.

Während uns Kälte, Wärme, Nebel, Wind, Sonne und andere Umwelteinflüsse fast dauernd bewusst werden, ist die Erdanziehung ein treuer Begleiter durch das ganze Leben, den man wohl gerade wegen seiner ständigen Gegen-

wart viel unbewusster erlebt. Sogar dort, wo er deutlich in Erscheinung tritt, wie bei Skiabfahrt, Sturz und Steigen, denken wir gewöhnlich nicht daran, dass die Massenanziehung dahinter steckt. Beim Steigen empfinden wir die Mühe des nach-oben-Strebens, haben aber nicht das Gefühl, dass wir uns mit unserer Kraft vom Erdmittelpunkt entfernen. Es zeigt dies, dass des Menschen innerste Struktur wohl mehr nach oben gerichtet ist, als wir heute allgemein wahr haben wollen. Wie schön hat OVID dies ausgesprochen:

«Pronaque cum spectent animalia cetera terram
Os homini sublime dedit caelumque videre
Iussit et erectos ad sidera tollere vultus.»

Wenn sich der Mensch von seinem erdgebundenen Dasein loslöst, entstehen für seine nicht an den Flug angepassten Organe gewisse Schwierigkeiten. Bevor wir diese behandeln, müssen wir auf die normalen Leistungen der Sinnesorgane bei der Raumorientierung eingehen.

II. Die normalen Leistungen der Sinnesorgane für die Orientierung im Raum

A. Die einzelnen Sinnesorgane

1. Das Sehen

Unsere Augen sind an die Verhältnisse auf der Erde gewöhnt und nehmen hier vieles als bare Münze an, was sich bei näherer Betrachtung als anders erweist. Das Auge ist zwar das wichtigste Organ für unsere Orientierung, es ist jedoch nicht restlos zuverlässig, sondern unterliegt gelegentlich optischen Täuschungen. Unser Urteil wird von der Gewohnheit beeinflusst, wofür ich einige Beispiele geben möchte:

Wenn der Raum, in dem wir uns aufhalten, etwas schief gebaut wäre, dann würden wir in diesem Raum unsere Körperachse nicht nach dem Lot, sondern nach den Wänden richten, d. h. wir würden schief sitzen.

Wir sind durch unsere Fenster in der Wohnung und in Fahrzeugen gewöhnt, den Fensterrahmen als lotrecht, bzw. waagrecht anzunehmen. In einer Seilbahn, deren Trasse verschiedene Neigungswinkel aufweist, können die Fenster nur für einen bestimmten Neigungswinkel im Lot stehen. Ist das Trasse an einer Stelle weniger steil, dann scheinen die Bäume und Telephonstangen hangab geneigt. Ist das Trasse steiler, erhalten wir im Gegenteil den Eindruck der Neigung lotrechter Objekte hangwärts. Wenn wir den Kopf zum Fenster hinausrecken, verschwindet dieses Gefühl, weil der Rahmen als scheinbares Mass des Lotes wegfällt.

Wir können aus diesen Beispielen den Schluss ziehen, dass das Auge die Erdanziehung nicht wahrnimmt, sondern sich nach Objekten richtet. Wenn diese in ungewohnter Lage sind, dann kommt es leicht zu Täuschungen.

Das Auge nimmt aber noch in anderer Weise an der Raumorientierung teil, besonders beim Schätzen von Geschwindigkeiten und Distanzen. Hierbei

spielen das binokulare stereoskopische Sehen, das Kennen der wirklichen Grösse des Objektes, Überschneidungen, Licht und Schatten, Bewegungsparallaxe sowie für nahe Objekte die Akkomodation eine Rolle.

2. Das Hören

Der Blinde besitzt ein viel ausgeprägteres Gehör als der Sehende, und er verwendet es zur räumlichen Orientierung. Bei Fledermäusen, die über keinen Sehapparat verfügen, haben sich sogar spezielle Ultraschallradar zur Orientierung im Raum ausgebildet. Beim Sehenden spielt das Gehör für die Raumorientierung nur eine untergeordnete Rolle. Durch Reflexion der Schallwellen kann es übrigens zu Täuschungen kommen über die Richtung, in welcher sich die Schallquelle befindet, was man besonders leicht feststellen kann, wenn man in den Bergen ein Flugzeug am Himmel zu lokalisieren versucht.

3. Die Sensibilität

Oberflächen- und Tiefenempfindung können in beschränktem Masse bei der Raumorientierung mithelfen, erstere durch den Tastsinn, z. B. durch den Druck auf die Haut beim Sitzen oder Stehen, wobei Einseitigkeit die schiefe Lage anzeigt.

Die Tiefensensibilität wird durch spezielle Nervenkörperchen an Muskeln, Sehnen und Gelenken vermittelt. Sie gibt uns ein Lagegefühl der einzelnen Glieder im Verhältnis zum Körper.

4. Der Gleichgewichtsapparat im Ohr (Vestibularapparat)

Im Innenohr findet sich ein kleines Gebilde, das für die meisten nicht durch das Auge wahrgenommenen Gleichgewichtsempfindungen verantwortlich ist. Es besteht aus zwei verschiedenen Teilen: den Bogengängen und dem statischen Organ.

a) Die *Bogengänge*: Sie sind mit einer Flüssigkeit gefüllt und an einer Stelle mit Sinneshaaren besetzt. Drehungen des Körpers bringen die Flüssigkeit in Bewegung, wobei sie wegen der Massenträgheit zu Beginn der Winkelbeschleunigung gegenüber dem Kopf zurückbleibt, sich mit der Zeit auf gleiche Drehgeschwindigkeit einstellt und beim Abstoppen der Drehung des Kopfes noch einige Zeit weiterdreht. Durch die Relativbewegung der Flüssigkeit innerhalb der Bogengänge werden die Sinneshaare abgebogen, was über entsprechende Nerven je nach der Drehrichtung zum Sinneseindruck des Drehens in der einen oder andern Richtung führt. Die Bogengänge stehen in drei aufeinander senkrechten Ebenen, welche die drei Koordinaten des Raumes repräsentieren. Bei Überreizung, Erkrankungen oder Ausfall der Bogengänge entsteht Schwindel. Wird die Drehebene während des Drehens rasch geändert, dann tritt infolge gleichzeitiger Reizung mehrerer Bogengänge Interpretationsschwierigkeit auf, die besonders heftigen Schwindel auslöst.

b) **Das statische Organ:** Es besteht aus Sinneshaaren, die parallel der Körperlängsachse gerichtet sind, und auf deren Spitzen kleine Kalkkugeln ruhen. Es gibt uns über Änderungen der Lage des Kopfes in einem Schwerfeld Auskunft, kann aber nicht unterscheiden, ob dieses Schwerfeld von der Erdanziehung oder von Fliehkräften herrührt, sondern reagiert auf die Resultierende dieser Kräfte wie ein Pendel. Solange wir auf der Erde wandern, kann uns das statische Organ bis zu einem gewissen Grade helfen, die aufrechte Haltung zu bewahren. In der Dunkelheit oder mit verbundenen Augen können wir noch aufrecht gehen, doch helfen uns dabei weitgehend die Oberflächen- und die Tiefensensibilität mit, denn die Füße auf dem Boden nehmen den Druck wahr. Im schwerefreien Zustand kann mit geschlossenen Augen die Lage des Körpers im Raum nicht mehr festgestellt werden.

B. Die Reizschwellen

Für die Funktion der Sinnesorgane ist die Tatsache entscheidend, dass alle diese Organe einer minimalen Reizintensität bedürfen, und dass ihre Funktion bei überstarken Reizintensitäten gestört wird.

Die Funktion des Ohres liegt zwischen Hörschwelle und Schmerzgrenze, diejenige des Auges zwischen Sehschwelle (beim Dunkelangepassten nur wenige Lichtquanten pro Sekunde!) und Blendung eingegrenzt. Die Bogengänge sprechen erst auf Drehungen von mindestens zwei Grad pro Sekunde an, während bei Überreizung Schwindel auftritt. Das statische Organ reagiert auf Lageänderungen von einem gewissen Ausmass an, gewöhnt sich aber relativ rasch an Dauerzustände. Besonders heftiger Schwindel entsteht, wenn es durch Lageänderungen des Kopfes während grosser Radialbeschleunigung übermässig gereizt wird.

C. Die zentrale Koordination

Für die Orientierung ist eine korrekte Interpretation der Sinneseindrücke und ihre zentrale Koordination notwendig. Die Hauptaufgabe des Vestibularapparates, zusammen mit Oberflächen- und Tiefensensibilität besteht darin, die Körpermuskulatur so zu steuern, dass das Gleichgewicht in jeder Lage und jedem Bewegungszustand erhalten bleibt. Ausserdem sind die Muskeln des Augapfels derart innerviert, dass der Raum auch während des Drehens als feststehend wahrgenommen wird. Das Auge bewerkstelligt dies durch horizontale Bewegungen, den sogenannten Nystagmus, wobei die langsame Phase im Gegendrehsinn, die rasche im Drehsinn erfolgt, so dass das vorüberziehende Bild in eine Reihe von stehenden Momentaufnahmen verwandelt wird.

Treffen im Gehirn sich widersprechende Meldungen von den verschiedenen Sinnesorganen ein, so kann das Zentralorgan diese nicht zur Deckung bringen, und es gerät infolgedessen in Verwirrung. Wir werden später noch auf das Beispiel des sogenannten «Hexenhauses» zu sprechen kommen. Störungen der

zentralen Koordination führen nicht nur zum Verlust der Raumorientierung, sondern auch zu Schwindel, der als Ausdruck der Hilflosigkeit in solchen Situationen aufzufassen ist.

III. Die Funktion der Sinnesorgane beim Fliegen

Beim Fliegen treten besondere Verhältnisse auf, denen die Sinnesorgane sonst nicht unterworfen sind. Da sich das Flugzeug mit dem Menschen zusammen frei im Raum bewegt, fehlt das auf der Erde gewohnte feste Bezugssystem für das Auge.

Die linearen, radialen und angulären Beschleunigungskräfte können ein Vielfaches der Erdanziehung betragen und wirken vor allem auf den Vestibularapparat, daneben auch auf die Sensibilität.

Die bei jedem Sicht- oder Blindflug auftretenden Sinnesempfindungen kommen hauptsächlich vom Gleichgewichtsapparat im Ohr, von den Augen, von den Drucksinn-Nerven der Haut und von den spannungsempfindlichen Nerven der Muskeln und Gelenke her. Zu einem kleinen Teil helfen auch Empfindungen, die von den inneren Organen stammen, Gefühlseindrücke beim Fliegen zu erzeugen. Der Gesamteindruck entsteht durch das Zusammenwirken aller Sinneseindrücke und durch ihre zentrale Koordination.

A. Die einzelnen Sinnesorgane

1. Die Beziehungen des Vestibularapparates zum Fliegen

Um seine Funktion analysieren zu können, müssen wir ihn isoliert betrachten; wir müssen uns also in die Verhältnisse des Blindfluges versetzen. Aus der oben ausgeführten Funktionsbeschreibung dieses Sinnesapparates können die möglichen Täuschungen mannigfacher Art abgeleitet werden.

Die Bogengänge

Sie entsprechen dem Wendezeiger (auch «Pinsel» genannt) im Flugzeug. Im Fliegen kommen Drehungen um alle Achsen des Flugzeuges vor:

Vertikalachse — Kurve, Querachse — Looping, Längsachse — Rolle.

Da die Nervenzellen der Bogengänge erst bei Winkelbeschleunigungen von mehr als 2° pro Sekunde ansprechen, kann sich der Mensch im Flugzeug ohne Sicht auf die Erde in jeder Ebene so langsam drehen, dass seine Bogengänge diese Richtungsänderungen nicht wahrnehmen. Der Pilot realisiert also nur relativ rasche Lageänderung des Flugzeuges.

Besondere Bedeutung erlangen die Bogengänge bei der Vrille (Trudeln), wie die Drehbewegungen des abstürzenden Flugzeuges, die einem Laubblatt entsprechen, genannt werden. Die Trägheit der Endolymphe in den Bogengängen bewirkt nach plötzlichem Abstoppen der Drehbewegung das Gefühl des gegensinnigen Drehens. Senkt der Pilot während des Drehens in der

Vrille plötzlich seinen Kopf, dann glaubt er, das Flugzeug neige sich auf die Nase. Dieser Eindruck ist von Schwindel begleitet. Die beiden Täuschungen sind gefährlich, weil sie den unerfahrenen Piloten dazu verleiten, durch falsche Steueranöver die Vrille fortzusetzen.

Das statische Organ

Wie wir sahen, gibt uns das statische Organ über Lageänderungen in einem Schwerfeld und über Änderungen desselben bezüglich Grösse und Richtung Auskunft. Es ist aber kein spezifischer Indikator für die Erdanziehung, denn es vermag nicht zwischen den verschiedenen Herkunftten der Kräfte zu unterscheiden. Die Erdanziehung ist zwar immer vorhanden, doch kann sie in gewissen Fluglagen (Looping) kurzfristig kompensiert werden. Die Beschleunigungskräfte, die im Flugzeug auftreten, betragen oft ein Vielfaches der Erdanziehung, so dass diese als Reiz in den Hintergrund tritt. Das statische Organ reagiert ähnlich wie die Kugel (Libelle) im Flugzeug. In einer einwandfrei geflogenen Kurve bleibt diese in der Mitte, und das statische Organ stellt fest, dass eine erhöhte Kraft direkt nach unten auf den Piloten einwirkt. Diese Kraft ist die Resultierende aus der Erdanziehung und der Radialbeschleunigung des Flugzeuges. Das Einlegen in die Kurve und das Drehen um ihren Mittelpunkt wird vom statischen Organ nicht wahrgenommen.

Zusammenfassend kann über den Vestibularapparat gesagt werden, dass die wichtigsten Sinnestäuschungen aus drei Ursachen entstehen:

1. Die Endolymphe der Bogengänge dreht infolge der Trägheit noch weiter, wenn sich der Mensch schon nicht mehr dreht.
2. Das statische Organ kann nicht zwischen der Erdanziehung und anderen Schwerfeldern unterscheiden und ist aus der Gewohnheit der Erdgebundenheit heraus geneigt, auch solche Beschleunigungen der Erdanziehung zuzuschreiben, die andern Ursprungs sind.
3. Sowohl die Bogengänge als auch das statische Organ benötigen eine Mindestbeschleunigung, um Sinnesreize auszulösen, was dazu führt, dass langsame Lageänderungen unbemerkt bleiben.

Die oben geschilderten Eigenheiten des Vestibularapparates führen zu Sinnestäuschungen beim Blindfliegen, wofür wir nun einige Beispiele betrachten wollen.

Sinnestäuschungen im Geradeausflug

Ein Flugzeug kann durch Böen rasch geneigt werden, wodurch der Pilot den richtigen Eindruck seiner neuen Lage erhält. Korrigiert er diese Lage nach den Instrumenten langsam, dann behalten seine Sinne das Gefühl der Neigung bei, weil sie das Aufrichten des Flugzeuges nicht wahrgenommen haben. Das Gefühl des Piloten, das Flugzeug hänge immer noch auf die eine Seite, vermag so stark zu sein, dass er sich unbewusst gemäss seiner falschen Vorstellung von der Vertikalen im Pilotensitz auf die entsprechende Seite

neigt. Es ist dies eine der stärksten und am häufigsten auftretenden Empfindungen im Blindflug. Die gleiche Sinnestäuschung entsteht, wenn das Flugzeug vom Piloten rasch aus einer Lage aufgerichtet wird, die es vorher langsam und folglich unbemerkt eingenommen hat.

Beim «Schieben» im Geradeflug (wobei das Flugzeug nicht in der Flugrichtung liegt, sondern leicht um die Vertikalachse gedreht ist) erfährt das statische Organ die gleiche Einwirkung, wie wenn der Pilot auf festem Boden seinen Kopf auf die eine Seite neigen würde. Er erhält deshalb den Eindruck, das Flugzeug «hänge» (leichte Drehung um die Längsachse) in Richtung des Schiebens und macht allenfalls falsche Korrekturen.

Sinnestäuschungen im Kurvenflug

In steilen Kurven, und speziell bei grosser Geschwindigkeit, ergibt die Beschleunigungswirkung in Richtung der Körperlängsachse einen Impuls auf das statische Organ, welcher mit den Eindrücken verwechselt wird, die beim Looping entstehen. Da der Pilot kein Gefühl dafür hat, um welche Achse das Flugzeug dreht, ist er ohne Bodensicht nicht in der Lage, die Steilkurve vom Looping zu unterscheiden.

Nach dem Aufrichten aus einer Steilkurve zum Geradeausflug erzeugt das Nachlassen der Beschleunigung den Eindruck grosser Leichtigkeit des Körpers, und der Pilot hat die Empfindung, als ob er das Flugzeug in einen steilen Stechflug drücke. Dies verleitet ihn, gefühlsmässig dagegen zu reagieren und in den Steigflug zu ziehen, allenfalls bis zum Geschwindigkeitsverlust.

Beim «Schieben» in der Kurve entstehen ähnliche Täuschungen wie beim «Schieben» im Geradeausflug. Der Pilot empfindet dabei eine Neigung des Flugzeuges gerade entgegengesetzt der tatsächlichen Richtung.

Da sich der Vestibularapparat im Kopf befindet, wird der Pilot durch die geschilderten Sinnestäuschungen weniger beeinflusst, wenn er den Kopf ruhig hält. Ändert er aus irgendeinem Grunde die Stellung seines Kopfes unter Beschleunigungseinwirkung rasch, dann bekommt er die merkwürdigsten Vorstellungen über seine Fluglage, wie z. B. die, dass das Flugzeug plötzlich eine Rolle fliege, ohne dass sich an der wirklichen Fluglage tatsächlich etwas geändert hat.

2. Die Rolle des Sehapparates beim Fliegen

Wie beim Menschen auf der Erde, ist auch für den Flieger im Sichtflug das Sehen der allerwichtigste Sinn, den er benützt, um sein Flugzeug im Raum zu orientieren. Das Sehen des natürlichen Horizontes gibt eine so starke Orientierung, dass hierdurch die übrigen Eindrücke fast ganz verdrängt werden. Insbesondere führen die geschilderten Wahrnehmungen des Vestibularapparates beim Sichtflug in der Regel nicht zu Sinnestäuschungen, wenn sie nicht von ganz besonderer Intensität sind. Wir sahen aber bereits, dass das Auge zur Orientierung eines Koordinatensystems bedarf. In der Regel verwenden wir beim Fliegen hierfür den natürlichen Horizont. Die Täuschungen,

welche wir bei der Seilbahn kennengelernt haben, spielen auch beim Fliegen eine grosse Rolle. Zwischen zwei parallelen, gegenüber der Erdoberfläche schief geneigten Wolkenschichten richtet der Pilot das Flugzeug nicht nach der Erde, sondern nach den Wolken aus. Das statische Organ lässt den Flieger hierbei vollständig im Stich. Der Horizont ist für seine Orientierung sogar derart wichtig, dass der natürliche Horizont in Höhen von über 10 000 m bereits nicht mehr völlig genügt, und mit Vorteil die Instrumente, insbesondere der künstliche Horizont, zu Hilfe genommen werden, um die Fluglage korrekt einzuhalten.

Der zu Schwindel neigende Mensch wird bei einer Höhe von mehr als 6 m über Grund bereits die ersten Zeichen davon wahrnehmen, die sich bis etwa 12 m Höhe verstärken. Seine Augen können ihm beim Aufrechterhalten des Gleichgewichts nicht mehr genügend helfen, und es erfasst ihn das Bedürfnis, etwas Festes zu halten. Es ist also keine blosser Frage der Einbildung, wenn man Bedenken hat, auf einem Balken von einem Turm des Grossmünsters zum andern zu gehen, eine Übung, die uns 1 m über Boden sicher nicht schwer fallen dürfte. Gerade der Blick in die leere Tiefe führt bei Fallschirmspringern mitunter zum Zaudern, während der Blick an den Horizont ihnen nichts antut. Den Springern wird deshalb eine Technik gelehrt, bei welcher der Blick geradeaus auf den Horizont gerichtet wird. Interessanterweise ist die Anzahl der Refusierer im nächtlichen Absprung geringer als am Tage, was man dadurch zu erklären versucht, dass nachts der Blick in die Tiefe fehlt. Wir müssen aber gleich beifügen, dass Leute, welche auf Bergen oder Kirchturmspitzen von Schwindel befallen werden, im Flugzeug gar nicht darunter zu leiden brauchen. Im Flugzeug fehlt eben in der Regel der in den Bergen eindrucksvolle Blick in den Abgrund. Psychologisch scheinen Abgrund und Leere zweierlei zu sein.

In der Vrille kann man viel zur Vermeidung von Verwirrungen beitragen, wenn man zur Orientierung den Horizont benützt und den Blick nicht senkrecht nach unten auf einen Punkt des Geländes fixiert.

3. Die Bedeutung der übrigen Sinnesempfindungen beim Fliegen

Die beim Fliegen auftretenden Beschleunigungskräfte wirken auch auf die Sensibilität. Die Haut der gestützten Körperpartien empfindet eine Zu- oder Abnahme des Druckes. Muskeln, Sehnen und Gelenke registrieren Spannungen, weil sie an der Haltung des Körpers und seinen Reaktionen auf Lageänderungen beteiligt sind. Da auch diese Empfindungen nicht zwischen Erdanziehung und Zentrifugalkräften unterscheiden können, führen sie zu denselben Täuschungen wie das statische Organ. Eine gewisse Hilfe bietet der Drucksinn dadurch, dass der Flieger vermittels des Druckes der Gurten an den Schultern eine Rückenvrille von einer Bauchvrille unterscheiden kann, was durchaus nicht so selbstverständlich ist, wie es dem Laien scheinen mag. In dieser Beziehung werden auch Blutleere bzw. Blutandrang im Kopf mitverwertet. Schliesslich sei auch noch der Zug der Eingeweide an ihrer Aufhängevorrich-

tung erwähnt, wobei der Mensch zwischen Belastung und Entlastung zu unterscheiden vermag.

Das Gehör hilft manchmal bei der Bestimmung des Flugzustandes, indem der Ton des Motors beim Steigen oder Sinken nicht gleich ist, und indem die Geräusche des Luftstroms an der Oberfläche des Flugzeuges gewisse Anhaltspunkte liefern. Es handelt sich hier aber immer nur um Hinweise, die nie eine sichere Interpretation der Fluglage erlauben.

B. Illusionen und Täuschungen beim Fliegen infolge falscher Koordination

Wir haben zunächst diejenigen Täuschungen behandelt, die durch das Versagen einzelner Sinnesorgane bedingt sind. Es ist aber ausserdem in Betracht zu ziehen, dass immer dann, wenn die der Zentrale des Gehirns zugeführten Meldungen nicht miteinander übereinstimmen, es zu Verwirrung kommt, der in Schwindel ausmünden kann. Es ist dabei weniger wichtig, welches Organ eine falsche Meldung liefert, sondern der Widerspruch zwischen den Meldungen ist es, der die Störung herbeiführt. Die Gleichgewichtssteuerung erhält in diesem Falle sich widersprechende nervöse Impulse, und dieses Durcheinander ist die Ursache von Übelkeit. Als klassisches Beispiel möchte ich das «Hexenhaus» zitieren, wie es auf Jahrmärkten betrieben wird. Eine Schaukel und der umgebende Raum befinden sich auf der gleichen Achse. Zunächst wird die Schaukel mit der Versuchsperson in mässige Bewegung versetzt, während das Haus ruht. Wenn nun das Haus entgegengesetzt der Schaukel zu pendeln beginnt, empfindet der Mensch eine Verstärkung des Schaukelns. Vergrössert man die Bewegungen des Hauses bei gleichbleibender Schaukelamplitude, so beginnt sich der Mensch festzuklammern. Wenn das Haus schliesslich auf dem Kopf steht, bildet man sich ein, hilflos mit dem Kopf nach unten an der Decke zu hängen. Das Durcheinanderlaufen der sich widersprechenden visuellen Eindrücke und Vestibulärempfindungen erzeugt häufig Übelkeit bis zum Erbrechen.

Filmaufnahmen aus dem stark bewegten Flugzeug sind imstande, Schwindel zu erzeugen, ohne dass der Vestibularapparat des ruhig sitzenden Betrachters gereizt würde, ja, gerade das Fehlen dieser Reize bei einer Situation, in welcher sie vom Auge her erwartet würden, ergibt den Widerspruch, der natürlich vor allem beim Flieger wirksam wird, denn der Nichtflieger weiss ja nicht genau, wie sich das Fliegen entsprechend der optischen Illusion auf den Vestibularapparat in Wirklichkeit auswirken müsste.

C. Die Luftkrankheit

Sie ist eine Form der Bewegungskrankheit, wie sie im Auto, in der Eisenbahn, auf dem Schiff, auf der Schaukel und im Flugzeug auftreten kann. Ihre Entstehung ist komplexer Natur; als Quellen kommen die Sinnesorgane, die Eingeweide sowie die Psyche in Betracht. Bei Kindern ist das Auftreten von Bewegungskrankheit in der Eisenbahn oder im Auto als normal zu be-

trachten. Die Hauptrolle bei ihrer Entstehung spielt der Vestibularapparat. Wenn er überempfindlich ist, reagiert er schon auf Reize, die für den durchschnittlichen Menschen nicht genügen, um die unangenehmen Reaktionen auszulösen. Bei genügend starkem Reiz lässt sich jedoch jeder Vestibularapparat übererregen. Auch die Abhärtung durch Gewohnheit ist in Betracht zu ziehen: so kann zum Beispiel beim seefesten Matrosen im Flugzeug und beim luftfesten Flieger auf dem Meer Bewegungskrankheit auftreten. Ausser der einfachen Überreizung des Sinnesorgans muss auch der oben geschilderte Widerspruch von Meldungen zwischen Auge und Vestibularapparat in Betracht gezogen werden, wie er besonders im Blindflug vorkommt.

Bewegungskrankheit ist ein typischer Zustand von Vagusübererregung und kann infolgedessen auch durch die Eingeweide ausgelöst werden. Beschleunigungen, besonders die sogenannten «geschletzten» Figuren, reizen den Vagus durch Zug am Gekröse. Es ist deshalb verständlich, dass auch das Essen bei der Entstehung der Luftkrankheit eine Rolle spielt. Man soll deshalb weder mit ganz vollem Magen noch hungrig ins Flugzeug steigen.

Auch die Rolle der Psyche ist bei der Entstehung der Bewegungskrankheit nicht zu unterschätzen. Die Erwartungsangst prädisponiert zur Entstehung von Übelkeit. Es ist deshalb unrichtig, die Kinder in der Eisenbahn dauernd zu fragen, ob es ihnen nicht schon übel sei. Es ist übrigens bekannt, dass der Pilot Akrobatik viel besser erträgt als der Passagier, auch wenn beide gleich trainiert sind. Der Pilot weiss genau, wie und wann er die Figuren einleitet, während der Passagier erst an dem, was mit ihm geschieht, merkt, welche Figur geflogen wird.

Zu Beginn des Flugunterrichtes ist es sehr wichtig, zu beachten, dass durch wiederholte Bewegungskrankheit nicht nur Erwartungsangst, sondern sogar bedingte Reflexe erzeugt werden können, so dass bereits Geruch oder Farbe des Flugzeugs den Brechreiz auslösen. Man muss deshalb bei der Einführung von Neulingen ins Fliegen und besonders in die Akrobatik so behutsam vorgehen, dass die Reizschwelle nicht überschritten wird. Auf diese Weise kann man auch bei relativ empfindlichen Menschen stufenweise eine recht hohe Luftfestigkeit erzeugen. Bei den meisten Menschen lassen sich durch Gewöhnung an die Bedingungen des bewegten Raumes die gegeneinanderlaufenden Gleichgewichtssteuerungen ausschalten.

D. D e r I n s t r u m e n t e n f l u g

Wir haben diejenigen Täuschungen beschrieben, die beim Fehlen des natürlichen Horizontes entstehen. Wenn das einzige, einigermaßen objektive Sinnesorgan, das Auge, ausfällt, so ist mit den übrigen Sinnen auf die Dauer keine Orientierung im Raume möglich. Es ist deshalb beim Verlust der Aussensicht, z. B. bei Nebel, Nacht, Vereisung oder in grosser Höhe notwendig, die Sehfunktion für die Raumorientierung zu erhalten, was durch die Verwendung von Instrumenten geschieht, welche mittels raschlaufender Kreisel den verlorenen, natürlichen Horizont durch einen künstlichen ersetzen. Wäh-

rend jedoch der natürliche Horizont die Eindrücke der andern Sinnesorgane relativ leicht aus dem Felde zu schlagen vermag, muss diese Fähigkeit im Instrumentenflug erst erlernt werden. Man muss vor allem lernen, den Instrumenten, wozu ausser dem künstlichen Horizont auch Wendezeiger, Libelle, Kurskreisel, Geschwindigkeitsmesser, Höhenmesser und Variometer gehören, zu glauben und nicht den Gefühlen. Das ist gar nicht so einfach und führt im Beginn oft zu Konflikten. Die gelernten Reaktionen des Sichtfluges sind gewöhnlich sehr fest eingepägt, wenn ein Pilot mit dem Instrumentenflug beginnt. Er verfügt somit über eine gewisse Erfahrung, die ihn im Instrumentenflug oft hindert. Ein Flieger, der seit Jahren auf sein Gefühl vertraut, kann nicht plötzlich seine Sinne den Instrumenten unterordnen. Sogar wenn er den Instrumentenflug erlernt hat, wird er immer noch instinktiv seine Lage nach dem Gefühl beurteilen wollen. Ohne Vestibularapparat wäre der Blindflug bestimmt leichter zu erlernen. Man bedient sich zur Blindflugschulung des Linktrainers, einer Flugzeugattrappe, die vermittels Steuerbewegungen in allen Ebenen des Raumes gedreht werden kann, und die mit den notwendigen Instrumenten ausgerüstet ist, welche die jeweilige Fluglage anzeigen.

Kommt ein Pilot im Instrumentenflug in eine ungewohnte Lage, dann machen ihm seine Gefühlswahrnehmungen grösste Schwierigkeiten. Beim unerfahrenen Blindflieger tritt Spannung oder gar Angst auf, wenn er über seine Lage in Zweifel gerät. Bei allen Anfängern im Instrumentenflug kommen solche Situationen vor. Sie sind jedoch gewöhnlich nur schwach ausgeprägt und verschwinden mit zunehmendem Training. Wer jedoch in solchen Situationen mit Panik reagiert und die Herrschaft über die Lage völlig verliert, wird den Instrumentenflug nicht erlernen.

Bei Überkonzentration in der Flugüberwachung kann es zu hypnoseähnlichen Zuständen kommen, welche durch die Bedingungen im Flugzeug, wie gleichmässiges Brummen des Motors, Geräusche der Luftströmung und des Funkes begünstigt werden. Zunächst erzeugt dieser Zustand Überaufmerksamkeit und Angespanntheit. Er kann dann aber in Schläfrigkeit übergehen, und der Pilot verliert die Kenntnis der wahren Lage seines Flugzeuges. Wenn er diesen Zustand bemerkt, erschrickt er und reagiert mit brusken Steuerbewegungen. Gegen solche Zustände kämpft man an durch sorgfältiges Erlernen des Instrumentenfluges, welches Selbstvertrauen einflösst, durch das Wissen um die Möglichkeit von Täuschungen, durch eine gewisse Autosuggestion, die bewirkt, dass man den Instrumenten unter allen Umständen Glauben schenkt. Geistige und körperliche Entspannung, frisches Zurechtsetzen und dergleichen hilft, die unliebsamen Täuschungen loszuwerden. Beharrliche falsche Gefühle, z. B. dass man auf eine Seite «hänge», können dadurch beseitigt werden, dass man vorübergehend auf die andere Seite «hängt», bevor man wieder gerade fliegt. Das «hängen» muss rasch eingeleitet werden, damit man es wahrnimmt, so dass das falsche Gefühl beseitigt wird. Die Rückkehr zur Normallage hat jedoch unerschwerlich zu erfolgen, damit das falsche Gefühl nicht wieder auftritt.

E. Optische Besonderheiten des schnellen Fliegens

Für das Sehen und Wahrnehmen benötigt man Zeit. Diese ist zwar so kurz, dass sie bei den Verrichtungen des täglichen Lebens nicht wesentlich ins Gewicht fällt. Ganz anders verhält es sich bei sehr hohen Fluggeschwindigkeiten, wofür wir in folgender Tabelle ein Beispiel geben wollen:

Fluggeschwindigkeit 900 km/h = 250 m/s

	Zeit Sek.	Weg m
Latenzzeit der peripheren Perzeption	0,10	25
Reaktionszeit für Augenbewegung (25°)	0,23	57
Foveale Perzeptionszeit (zentrales, scharfes Sehen)	0,07	18
Erkennungszeit (Verwandlung des Sinneseindruckes in eine Vorstellung des Bewusstseins)	1,00	250
Reaktionszeit (z. B. zur Ausführung von Steuerbewegungen)	0,40	100
	Summe	1,80 s 450m

Vor einem schnell fliegenden Flieger wird sich also ein Raum befinden, in welchem er nichts wahrnimmt; diesen Raum bezeichnet man als *kinetisches Skotom*. Zwei Flieger, welche mit 900 km/h gegeneinander fliegen und in einem Abstand von 700 m plötzlich aus den Wolken auftauchen, werden zusammenstossen, bevor sie sich bewusst gesehen haben.

Ein anderes Problem des raschen Fluges besteht darin, dass beim Durchbrechen der Schallgrenze sich vor dem Flugzeug eine sogenannte Schockwelle staut, welche infolge ihrer grösseren Dichte die Lichtstrahlen bricht und dadurch um einige Grade ablenkt. Der Flieger sieht deshalb die Objekte nicht mehr genau dort, wo sie sind, wenn nicht komplizierte Einrichtungen zur optischen Korrektur angebracht werden, was z. B. für Zielgeräte notwendig wäre.

Ein weiteres Problem ist durch die Diskontinuität der Bildgrössenänderung (W. R. HESS) gestellt. Tatsächlich sieht man einen Gegenstand nicht entsprechend der Ausdehnung seines Bildes auf der Netzhaut, sondern relativ zur geschätzten Entfernung, wobei man sich auf die umgebenden Objekte stützt. Ein Auto wird auf grosse Distanz als entferntes wirkliches Auto und nicht als nahes Spielauto wahrgenommen. Bei einer sehr schnellen Annäherung an Objekte hört die uns bekannte kontinuierliche Vergrösserung ihres Bildes auf und wird durch ein ruckartiges Grösserwerden ersetzt. Es ist so, wie wenn eine rasche Bewegung auf einem Film mit ungenügender Bildzahl pro Zeiteinheit aufgenommen würde.

F. Das Nachtsehen

Wir können uns im Rahmen der vorliegenden Ausführungen nur sehr kursorisch mit dem grossen Gebiet des Nachtsehens befassen. Im Gegensatz zum Tagsehen, das ständig bereit ist, bedarf es für das Nachtsehen einer Anpassungszeit an die Dunkelheit. Durch Blendung wird diese Adaption viel rascher zerstört, als sie in der Dunkelheit entstanden ist. Auch der Tagsehapparat, der sich anatomisch auf die Sehzäpfchen stützt und uns u.a. das Farbsehen

ermöglicht, passt sich bis zu einem gewissen Grade an die Dunkelheit an. Der eigentliche Nachtsehapparat, der anatomisch aus den Sehstäbchen besteht, tritt bei einer Beleuchtung, die unterhalb des Vollmondlichtes liegt, in Aktion. Wichtig ist nun die Tatsache, dass in der Makula, die uns tags das zentrale, scharfe Sehen ermöglicht, keine Stäbchen vorhanden sind. Es kommt deshalb in der Dunkelheit zu einem zweiten blinden Fleck, der sich gerade im Zentrum der Netzhaut befindet, also dort, wo durch entsprechende Einstellung der Augen normalerweise das Bild des Objektes beim Scharfsehen zu liegen kommt. Der Nachtflieger muss deshalb lernen, diesen blinden Fleck zu vermeiden, indem er etwa 10° an den gesuchten Objekten vorbeischaute. Die Sehschärfe sinkt unter diesen Umständen allerdings stark ab, und der Flieger muss versuchen, durch die Ausnützung von Kontrastwirkungen die Situation zu verbessern. Durch ständiges Schweifenlassen des Blickes vermeidet der Nachtflieger das Übersehen von Objekten, die sich im blinden Teil des Gesichtsfeldes befinden.

Beim Nachtsehen treten besonders gefährliche Täuschungen auf, welche wir noch kurz beschreiben wollen:

Der *autokinetische Effekt* kann leicht hervorgerufen werden, indem man in einem völlig verdunkelten Raum ein beleuchtetes Schlüsselloch betrachtet. Diese punktförmige Lichtquelle beginnt scheinbar zu wandern, wobei es sich um eine zentrale Illusion handelt, bei der wohl der Verlust des räumlichen Koordinatensystems eine Rolle spielt. Weist die Lichtquelle nämlich eine gewisse räumliche Ausdehnung auf, ist sie von einem Lichthof umgeben, oder sind mehrere Lichtquellen vorhanden, dann tritt der Effekt nicht auf. Beim Fliegen hat diese Erscheinung schon zu Unfällen geführt, indem im Verbandsflug der hintere Flieger den scheinbaren Bewegungen des vorderen folgte, wodurch es zu Zusammenstößen mit anderen Flugzeugen des Verbandes kam. Die Ursache dieser Erscheinung ist heute noch nicht restlos aufgeklärt.

Die *okulogyrale Illusion* hängt mit der Wirkung von Beschleunigungen auf die Innervation des Sehapparates zusammen und führt zur scheinbaren Verschiebung von Objekten im Raum. Nachtflieger dürfen deshalb keine brusken oder lange dauernden Beschleunigungen ausführen, weil sonst ihre Raumorientierung gestört wird. Wenn der Tagsehapparat funktioniert, werden diese Illusionen automatisch unterdrückt.

IV. Vergleich mit fliegenden Tieren

Wir müssen bei den Tieren die Raumorientierung, welche sich auf die Erdoberfläche, d. h. den Horizont oder das Lot stützt, von der geographischen Orientierung unterscheiden, welche das Aufsuchen entfernter Brutstätten erlaubt.

Zur Raumorientierung ist zu bemerken, dass auch die Vögel den Sehapparat zum Fliegen benutzen. Tagvögel pflegen nur ausnahmsweise nächtlich zu fliegen, wobei eine minimale Beleuchtungsintensität vorhanden sein muss.

Brieftauben landen im dichten Nebel im Gleitflug. Geblendete Lockvögel und mit Kappen bedeckte Falken fliegen nicht weg. Schliesslich sind Nachtvögel mit besonderen Nachtsehapparaten ausgerüstet. All dies legt uns die Vermutung nahe, dass auch die Vögel, welche eigens für den Flug gebaut sind, nicht über einen künstlichen Horizont verfügen.

Seit den Untersuchungen von von FRISCH weiss man, dass sich die Bienen (Hymenopteren) mit ihren Facettenaugen mittels des polarisierten Lichtes zu orientieren vermögen. Dipteren, wie Fliegen, haben ihr hinteres Flügelpaar in rotierende Kölbchen verwandelt, die als Kreiselgerät eine Stabilisation im Raum gewährleisten. Nach Entfernung dieser Kolben sind sie nicht mehr zum normalen Flug fähig. Fledermäuse, die ja nicht sehen können, verwenden eine Art Ultraschallradar zur Raumorientierung. Sie sind damit so geschickt, dass sie auch feine Drähte, welche im Raum gespannt sind, vermeiden können. Der Flug der Nachtfalter ist noch nicht geklärt, doch glaubt man, dass auch sie einer minimalen Beleuchtung bedürfen, um fliegen zu können.

Was die geographische Orientierung anbelangt, so kann sie nicht durch das Auge erklärt werden. Zugvögel müssen über eine Art Fernkompass verfügen, dessen Funktionsmechanismus noch gänzlich ungeklärt ist.

Zum Schluss wollen wir uns erinnern, dass uns das Auge beim Fliegen nicht nur zur Orientierung dient, sondern dass es uns auch ästhetische Genüsse ganz besonderer Art vermittelt. Die vielen schönen Photographien und Filme, welche aus Luftfahrzeugen aufgenommen wurden, verschaffen uns nur einen Abglanz von dem, was der Flieger erlebt, wenn er um Wolken kreist oder sich über unsere herrlichen Alpen erhebt. Ich kann es jedem angelegentlich empfehlen, sich diesen Genuss zu verschaffen.