Bibliothek des Flugzeugführers

Heft 8

Illusionen beim Fliegen

Nationale Volksarmee
Kommando
der Luftstreitkräfte und Luftverteidigung
1980

HORST MATERNA
Schwalbenweg 12
12529 SCHÖNEFELD

Bibliothek des Flugzeugführers

Heft 8

Illusionen beim Fliegen

Erarbeitet: MR Dr.med. I. Lehweß-Litzmann
OSL MR Dr.med. E. Peper
OSL MR Dr.med. W. Pröhl

Herausgeber: Institut für Luftfahrtmedizin

Chefredakteur: Oberst OMR Prof.Dr.sc.med. Fritze

Redaktionsschluß: Oktober 1980

Nationale Volksarmee
Kommando der
Luftstreitkräfte und Luftverteidigung

1980

		Seite
	Vorwort	1
I.	Die Grundlagen der räumlichen Orientierung des Menschen auf der Erde und beim Fliegen und ihre Störungen	2
1.	Die Grundlagen der räumlichen Orientierung unter Normalbedingungen	2
2.	Die Grundlagen der räumlichen Orientierung beim Fliegen	3
3.	Die Störanfälligkeit des neuen funktionellen Systems der an der räumlichen Orientierung beteiligten Analysatoren beim Instrumentenflug	4
3.1.	Sinnesempfindungen beim Instrumentenflug	4
3.2.	Ursachen der Störanfälligkeit des neuen funktionellen Analysatorensystems	5
3.3.	Zusätzliche illusionsfördernde Faktoren beim Fliegen	6
3.3.1.	Psychische Faktoren	7
3.3.2.	Konditionsmindernde Faktoren	7
3.3.3.	Psychophysiologische Faktoren	7
3.3.4.	Ausbildungsbedingte Faktoren	7
3.3.5.	Durch die Geräteanordnung und -konstruktion bedingte Faktoren	7
4.	Definition des Begriffes "Flugillusion"	9
II.	Visuelle Illusionen	11
1.	Fehleinschätzung von Höhe und Entfernung	11
1.1.	Falsche Abstandseinschätzung zu anderen Flugzeugen	11
1.2.	Falsche Abstandseinschätzung zur Erde	11
1.3.	Effekt der Irradiation und des Fehlens von Kontrasten	12
1.4.	Die Mondillusion	12
2.	Verkennung der Fluglage	13
2.1.	Illusion der Unbeweglichkeit	13
2.2.	Verkennung der eigenen Lage in Bezug zu anderen Flugzeugen	14
2.2.1.	Illusion des leeren Raumes	14
2.2.2.	Illusion des Aufquellens und des Schrumpfens	14
3.	Autokinese (Eigenbewegung)	15
4.	Horizontverkennung	16
4.1.	Gefühl der Bodenlosigkeit	16
4.2.	Falsche Einschätzung der Lage zum Horizont durch Wolkenbildung	16
4.3.	Horizontverschiebung	16
5.	Fata Morgana	17
6.	Verkennung von Lichtpunktobjekten	17
6.1.	Verkennung des Charakters der Lichtquelle	17
6.2.	Verkennung der Lage der Lichtquellen	17
6.3.	Zersplitterung von Lichtquellen	18
6.4.	Verkennung der Bewegung von Lichtern	18
7.	Sternumzingelung	18
8.	Die umgekehrte Fluglage	19
III.	Illusionen mit vorwiegend vestibulärem Charakter	21
1.	Erläuterung	21
2.	Illusionen der Lage und der Drehung	23
2.1.	Illusion der Schräglage	23
2.2.	Steig- und Gleitempfindungen im Geradeausflug	24
2.3.	Steig-Gleitempfindungen im Kurvenflug	24
2.4.	Falsche Einschätzung des Kurvenfluges	25
2.4.1.	Unterschätzung des Kurvengrades	25
2.4.2.	Illusion des fortlaufenden Kurvenfluges	25
2.4.3.	Illusion der Gegendrehung im Kurvenflug und bei Ausleiten des Kurvenfluges	25
2.4.4.	Illusion der Gegendrehung bei unsauberer Durchführung des Kurvenfluges	25
2.5.	Illusionen beim Ein- und Ausleiten einer Rolle	26
2.6.	Illusion beim Trudeln	27

		Seite
3.	Illusionen bei Einwirkung der Coriolis-Beschleunigung	29
IV.	Komplexe Illusionen von visuellem und vestibulären Charakter	30
1.	Die oculogyrale Illusion	30
2.	Die oculogravische Illusion	31
V.	Häufigkeit und Dauer von Flugillusionen	33
1.	Häufigkeit von Flugillusionen	33
2.	Dauer von Flugillusionen	33
VI.	Maßnahmen zur Verhütung von Illusionen	35
1.	Auswahl	35
2.	Prophylaxe	35

Vorwort

Die Orientierung im dreidimensionalen Raum ist ohne Sicht des natürlichen Horizontes allein durch die Empfindungen des steuernden Menschen nicht möglich. Beim Flug nach Instrumenten kann es zu erheblichen Abweichungen zwischen den optisch wahrgenommenen Geräteanzeigen über die Lage des Flugzeuges im Raum und den sonst gewohnten Lage- und Bewegungsempfindungen aus dem Gleichgewichtsorgan und den auf mechanische Reize reagierenden Sinnesorganen der Haut, der Muskeln des Stützsystems und der inneren Organe kommen, die der realen Lage nicht entsprechen.

Diese falschen Sinneswahrnehmungen bezeichnet man als Flugillusionen. Jeder Flugzeugführer muß sie kennen und erkennen, um sich im Interesse der Flugsicherheit vor ihnen schützen zu können. In diesem Heft sollen die psychophysiologischen Grundlagen der Entstehung von Illusionen beim Fliegen, ihre Einteilung, ihr Vorkommen und Maßnahmen zu ihrer Verhütung und Beseitigung erörtert werden. Im Verlaufe seiner fliegerischen Tätigkeit erlebt jeder Flugzeugführer irgendwann Flugillusionen. Die Kenntnis ihrer Natur ist schon der erste Schritt zur Überwindung und damit zum sicheren Fliegen.

I. Die Grundlagen der räumlichen Orientierung des Menschen auf der Erde und beim Fliegen und ihre Störungen

1. Die Grundlagen der räumlichen Orientierung unter Normalbedingungen

Im Rahmen der Kommunikation des Organismus mit der Umwelt spielen die Sinnesorgane als Informationsmittler eine wichtige Rolle.
Obwohl die einzelnen Sinnesorgane für verschiedene Reizarten spezialisiert sind, muß immer beachtet werden, daß das Zentralnervensystem (Gehirn) stets als Ganzes funktioniert. Dieser Tatsache trägt u.a. der Begriff des Analysators Rechnung, der umfassender ist als der Begriff des Sinnesorgans, da er nicht nur die Rezeptoren und ihre vorgelagerten Hilfsapparate einschließt, sondern auch die zentralnervösen Umschalt- und Bearbeitungsstationen sowie entsprechende Repräsentationen in der Großhirnrinde einbezieht.
Eine solche Betrachtungsweise wird um so notwendiger, je komplexer die Funktionen des Organismus werden. Ein Funktionsprinzip, das auf verschiedenartigste komplexe Reaktionen des Organismus anwendbar ist, ist die Theorie des funktionellen Systems. Sie geht in starker Vereinfachung davon aus, daß erst auf der Grundlage der Synthese der Gesamtheit der auf den Organismus wirkenden Reize, der motivierenden Faktoren und der im Gedächtnis gespeicherten Informationen die Entscheidung der zweckmäßigsten Reaktion in der gegebenen Situation möglich ist.

Auch die Basis der räumlichen Orientierung des Menschen auf der Erde ist solch ein funktionelles System. Verschiedene Analysatoren spiegeln jeweils eine der Seiten eines komplizierten Komplexreizes wider, den wir insgesamt als räumliche Charakteristik der Umwelt wahrnehmen. Die gekoppelte Tätigkeit mehrerer Analysatoren schafft die Möglichkeit, ausgehend von der Widerspiegelung einzelner Seiten oder Eigenschaften der räumlichen Beziehungen, die Widerspiegelung ihrer Gesamtheit zu gewährleisten. Das ist eine Voraussetzung dafür, den betreffenden Komplexreiz nicht mit einer Summe von Einzelaktionen, sondern mit einer ganzheitlichen Reaktion zu beantworten, was eine vollkommenere und damit auch effektivere Form des Verhaltens des Organismus bei seinen Wechselbeziehungen zur Umwelt darstellt.
Der Anteil der verschiedenen Analysatoren an der Formierung einer Lage- und Bewegungswahrnehmung als Widerspiegelung objektiver Umweltbeziehungen ist unterschiedlich und führt zu einer Rangordnung in den Beziehungen zwischen den an diesem funktionellen System beteiligten Analysatoren. Die Führung in der Lageorientierung übernimmt immer das System, das die zuverlässigsten Informationen über die reale Raumlage

zur Verfügung stellen kann.
Für die Bedingungen des irdischen Lebens existiert für einen Teil der Rezeptoren des Gleichgewichts- oder Vestibularapparates (vestibulärer Analysator) in der Schwerkraft eine objektive Reizquelle, die als Bezugssystem für alle räumlich orientierten Wahrnehmungen und Vorstellungen sowie für alle unsere spontanen und ausgelösten Bewegungen, die gerichtet im Raum erfolgen, fungiert. Dies hat zur Folge, daß absolute Raumkoordinaten außerhalb des Schwerefeldes der Erde nicht ermittelt werden können.
Die Verarbeitung der vestibulären Information ist unter Erdbedingungen vom Menschen zuverlässig zur Bestimmung des "Oben" und "Unten" sowie seiner Lage zur Vertikalen zu verwenden. Dies erklärt die wichtige Rolle, die der vestibuläre Analysator in diesem Bedingungsgefüge spielt.
Dabei muß jedoch berücksichtigt werden, daß speziell beim Menschen der visuelle Analysator durch die gleichzeitige räumliche Wahrnehmung komplexer Gestalten an der räumlichen Ordnung der Umwelt, die der Mensch erlebt und auf die er einwirkt, wesentlich mit beteiligt ist.
Für das raumorientierte Bewegungsverhalten und Körperstellungsempfinden hat auch die gesamte Oberflächen- und Tiefensensibilität, zusammengefaßt als kinaesthetischer Analysator, große Bedeutung. Die zugehörigen Rezeptoren liegen in Muskeln, Sehnen und im Aufhängeapparat innerer Organe, sowie als Druckrezeptoren in der Haut (besonders wichtig beim Fliegen sind die Druckrezeptoren der Gesäß- und Rückenhaut).

2. Die Grundlagen der räumlichen Orientierung beim Fliegen

Beim Fliegen ist jedoch, was aus der Flugmechanik leicht erkennbar wird, der Schwerkraftbezug oft irreführend. Infolge der dabei ständig auftretenden zusätzlichen Linear- und Zentrifugalbeschleunigungen tritt an die Stelle der Erdbeschleunigung mit ihrer festgelegten Wirkrichtung (Vertikale) eine Resultierende aus jener und der zusätzlichen Beschleunigung. Diese ist aber in ihrer Größe und Richtung veränderlich, und darin voll von der zusätzlichen Beschleunigung abhängig. Damit wird der Schwerkraftbezug für eine Lageorientierung unzuverlässig. Das heißt, alle Sinnesorgane, die die Erdbeschleunigung als objektive Reizquelle zur Bestimmung der Lage des Kopfes und des Körpers zur Vertikalen benutzen sind nicht mehr fähig, zu einer objektiven Widerspiegelung der realen Umweltbeziehungen, der wahren Raumlage, beizutragen. Sie versagen, weil sie nicht zur Analyse der bei Bewegungen im dreidimensionalen Raum komplizierteren Kräftekonstellationen ihrem Bau und ihrem Funktionsplan entsprechend geeignet sind. Nur das Auge ist

unter Flugbedingungen noch ein relativ zuverlässiger Informator. Unter Flugbedingungen muß also die führende Rolle in dem funktionellen System der Raumlage- und Raumbewegungsanalysatoren vom vestibulären an den optischen Analysator übergehen.

3. Die Störanfälligkeit des neuen funktionellen Systems der an der räumlichen Orientierung beteiligten Analysatoren beim Instrumentenflug

Während die Orientierung nach dem natürlichen Horizont relativ leicht gelingt und schon nach wenigen Flügen die Erde als feststehend und das eigene Flugzeug als sich bewegend empfunden wird, ist das beim Fliegen unter erschwerten Bedingungen mit fehlender oder unterbrochener Erdsicht, also beim Instrumentenflug, nicht so einfach. Daher sind Flugillusionen auch vor allem eine Komplikation des Instrumentenfluges; sie sind unvermeidlich, wenn nicht die Flugüberwachungsgeräte, vor allem der künstliche Horizont, regelmäßig kontrolliert werden.

3.1. Sinnesempfindungen beim Instrumentenflug

Voraussetzung und Grundlage einer Flugillusion sind zunächst irreführende Sinnesempfindungen beim Instrumentenflug:

3.1.1. - die den optischen Analysator selbst betreffen und zu einer falschen Lagewahrnehmung im Raum führen können.
Beispiel: Schräge Wolkenbänke oder eine Lichterkette an einem Hang nachts, die zu einer visuellen Schräglageillusion zu führen vermögen;

3.1.2. - die die übrigen Analysatoren, insbesondere den vestibulären, betreffen und zu Erregungsherden im ZNS führen, welche beim Wirksamwerden illusionsfördernder Faktoren schließlich für die Lagewahrnehmung die bestimmende Rolle spielen.
Solche Sinnesempfindungen sind: Empfindungen des Beschleunigens und des Abbremsens, des Steigens und des Sinkens, des Schwerer- und des Leichterwerdens, der Neigung und der Drehung.

- Die auslösenden Sinnesreize und ihre Ursachen: Diese genannten Empfindungen werden in erster Linie durch Linear- und Winkelbeschleunigungen ausgelöst, die zur Reizung des Vestibularapparates führen und asymmetrische Muskelkontraktionen auslösen können, die im Aufhängeapparat der inneren Organe

befindlichen Rezeptoren durch Lageveränderung dieser Organe zu reizen vermögen und Druckreize bestimmter Hautpartien setzen können, zum Beispiel Andruck an den Sitz. Von Bedeutung sind auch einseitig stärkere Muskelanspannungen und Hautdruck infolge einseitiger statischer Körperbelastung. Linear- und Winkelbeschleunigungen wechselnder Größe treten bei allen Flugmanövern auf; einseitige statische Körperbelastung kann verursacht werden durch

- falsche Sitzhaltung in der Kabine, zum Beispiel Schiefhalten des Kopfes,
- schlechte Anpassung der Höhenschutzausrüstung,
- einseitig stärker angezogene Begurtung.

3.2. Ursachen der Störanfälligkeit des neuen funktionellen Analysatorensystems

Die Orientierung nach Instrumenten wird insbesondere durch folgende Faktoren erschwert:

E r s t e r Faktor: Die Informationsaufnahme durch das Auge erfolgt diskret. Das heißt, es geht nicht ein ununterbrochener optischer Informationsstrom über die Lage und die Bewegungen des Flugzeuges zur Großhirnrinde, wie das beim Fliegen nach Sicht im wesentlichen der Fall ist. Das Ablesen der Instrumente erfolgt vielmehr in Einzelschritten und in unterschiedlichen Zeitintervallen. Dies führt schließlich auch nur zu Einzelinformationen über die räumliche Lage, deren Verknüpfung zu einer Lagevorstellung der Flugzeugführer jedesmal erst bewußt vornehmen muß. Dieser Vorgang wickelt sich auch unter der Bedingung eines kontinuierlichen Informationsstromes zu Lageveränderungen zum Großhirn ab, welcher entsprechend den vom Flugzeug vollzogenen Evolutionen ununterbrochen vom Vestibularapparat ausgeht und der die nicht mit ihm übereinstimmenden optischen Informationen zu verdrängen sucht.

Z w e i t e r Faktor: Die Geräteanzeigen sind nur Symbole der natürlichen Reize (des natürlichen Horizonts, des natürlichen Höhseindruckes). Sie müssen gewissermaßen erst übersetzt und zu einer Vorstellung der Lage zum Horizont, der Höhe über Grund verarbeitet werden. Eine zusätzliche Arbeit, die unser Hirn zu leisten hat und die auch Zeit erfordert.

D r i t t e r Faktor: Wegen des Schwerkraftbezuges unserer Raumlagevorstellungen wird gewohnheitsmäßig auch beim Fliegen der Kabinenboden als unten, das Kabinendach als oben befindlich empfunden. Diese

Empfindung, die allein aus den in unserem Gedächtnis gespeicherten Raumlagevorstellungen herrührt, kann sehr hartnäckig sein, zumal wenn sie noch von den ständig einlaufenden Informationen seitens des Vestibularapparates bestätigt und gestützt wird.

V i e r t e r Faktor: Alle Navigationsinstrumente besitzen eine gewisse Anzeigeträgheit, die konstruktionsbedingt ist. Aus diesem Grunde empfinden wir über die Lagerezeptoren, insbesondere den Vestibularapparat, bereits Veränderungen in Richtung und/oder Geschwindigkeit des Flugzeuges, bevor überhaupt eine Veränderung von Zeigerdarstellungen an den Geräten zu sehen ist. So wird bereits ein verstärkter Andruck empfunden, bevor das Variometer Steigen anzeigt.

F ü n f t e r Faktor: Die führende Rolle des Sehanalysators ist beim Fliegen im Vergleich zu der unter Erdbedingungen führenden Rolle des vestibulären nur wenig gefestigt. Wenige Ausbildungsstunden stehen vielen Lebensjahren gegenüber.

So kann es leicht geschehen, daß die optischen Informationen aus den Instrumentenanzeigen von ihrem ersten und bestimmenden Platz durch die vom Gleichgewichtsapparat ausgehenden Informationen verdrängt werden oder Gefahr laufen, verdrängt zu werden. Das geschieht umso leichter, je weniger gefestigt die neue Art der Raumorientierung unter Führung des Sehanalysators ist.

Ob und in welchem Maße das geschieht, hängt aber insbesondere vom Trainingszustand im Instrumentenflug (Flugerfahrung) und von der momentanen geistigen und körperlichen Kondition (Leistungsfähigkeit) ab. Gibt es Schwächen in diesen Bereichen, so kann es vorkommen, daß eine Illusion nicht sogleich verschwindet sondern noch anhält, nachdem sie erkannt wurde. Vertraut der Flugzeugführer trotzdem der Richtigkeit der Instrumentenanzeige und richtet sich danach (teilkompensierte Illusion), vermag er ein Flugvorkommnis abzuwenden. Werden die aus dem Vestibularapparat herrührenden Lageempfindungen aber so übermächtig, daß er ihnen und nicht den Instrumenten vertraut, beginnt er zu glauben, es würde eine Störung der Geräte vorliegen und seine Empfindungen seien richtig (dekompensierte Illusion), dann ist die Gefahr eines Flugvorkommnisses groß.

3.3. Zusätzliche illusionsfördernde Faktoren beim Fliegen

Zu den unter Punkt 4.2. genannten kommen noch eine Reihe weiterer Faktoren in Betracht, die sich ungünstig auf die Stabilität des neuen funktionellen Analysatorensystems auswirken können und insbesondere die psychische und physische Leistungsfähigkeit in Mitleidenschaft

ziehen. Diese sind:

3.3.1. Psychische Faktoren:

- Gespannte Aufmerksamkeit auf die Lageempfindungen bei jeder Bewegung des Flugzeuges (meist durch geringe Erfahrung und Angst vor Flugillusionen und vor Kinetose bedingt)
- emotionale Anspannung in komplizierten Flugsituationen
- Ablenkung der Aufmerksamkeit von den Instrumenten
- Mangel an Vertrauen in die eigene Leistungsfähigkeit
- Störungen der seelischen Ausgeglichenheit und des Wohlbefindens durch familiäre oder dienstliche Konflikte.

3.3.2. Konditionsmindernde Faktoren:

- Mangel an Bewegung
- übermäßiges Rauchen
- Alkohol
- akuter und chronischer Schlafmangel (die Ermüdung ist ein sehr bedeutungsvoller illusionsfördernder Faktor)
- beginnende und noch nicht vollständig überstandene Erkrankungen (besonders die sogenannten Erkältungskrankheiten).

3.3.3. Psychophysiologische Faktoren:

Dazu gehören Faktoren wie

- die überraschende Notwendigkeit des Überganges vom Sichtflug zum Geräteflug (zum Beispiel beim Einflug in die Wolken)
- Reizmonotonie (zum Beispiel der gleichmäßige Triebwerkslärm bei Langstreckenflügen).

3.3.4. Ausbildungsbedingte Faktoren:

- Ungenügende Erfahrung im Instrumentenflug
- fehlende Kenntnisse über Flugillusionen
- eine falsche Aufmerksamkeitsverteilung
- Flugpausen
- eine ungenügende Fertigkeit im Ablesen der Geräte
- ungenügend trainierte Fertigkeiten des schnellen Übergangs vom Sichtflug zum Instrumentenflug.

3.3.5. Durch die Geräteanordnung und -konstruktion bedingte Faktoren:

- Veränderungen der gewohnten Art der Flugparameterdarstellung (zum Beispiel bei Umschulungen auf einen anderen Typ)
- die Anzeigeträgheit der Geräte.

Beim Fliegen geht also die führende Rolle im System der an der räum-

lichen Orientierung beteiligten Sinnesorgane vom Gleichgewichtsorgan (Vestibularanalysator) auf das Auge (optischer Analysator) über. Bei fehlender Sicht auf den natürlichen Horizont erhält das Gehirn damit seine Informationen über die Lage des Flugzeuges im Raum nur chiffriert über die Instrumentenanzeigen. In bestimmten Strukturen des Zentralnervensystems erfolgt nun eine Dechiffrierung der symbolischen Signale und in einem neu zu erlernenden Integrationsprozeß der Aufbau einer neuen Vorstellung über die Lage des Flugzeuges im Raum.

Diese neue dynamische Raumorientierung durch das Zusammenfassen und Interpretieren diskontinuierlich wahrgenommener Geräteanzeigen setzt ein längeres Training und eine entsprechende fliegerische Erfahrung voraus. Da sie nicht entwicklungsgeschichtlich verankert und im Verlaufe eines ganzen Lebens erworben ist, ist sie auch weniger stabil und schon durch Ermüdung, Krankheit oder ungewöhnliche Situationen störbar. Hinzu kommt, daß die Signale der anderen Analysatoren nicht ausbleiben und die Abweichungen der Wahrnehmungen zu einem Widerstreit zwischen gewohnten Lage- und Bewegungsempfindungen und dem neuen zentral gebildeten "Lageempfinden" nach Geräteanzeigen führen kann. Das ist besonders bei den sogenannten visuellen Flugillusionen der Fall, die bei Flügen in großen Höhen, in sternklaren Nächten oder über Wasserflächen auftreten können.

Das Fliegen nach Instrumenten muß erlernt und trainiert werden wie eine Sprache. Die indirekte Orientierung durch Instrumente muß für den Flugzeugführer so überzeugend sein, das vertrauen zu den Instrumenten muß so groß sein, daß abweichende Informationen über die Sinnesorgane nicht bewertet werden. Die Kunst des Fliegens besteht zum Teil darin, diese zusätzlichen Signale im Gehirn nicht mehr zu registrieren und zur Synthese des neuen Raumbildes zu benutzen.

Aus den Erfahrungen mit psychologischen Trainingsmethoden im Rahmen der Psychotherapie wissen wir, daß man eine selektive auswählende Wahrnehmung trainieren kann.
Kommt es zu einem Gefühl der Unsicherheit beim Fliegen, können beim Flugzeugführer Zweifel an der Richtigkeit der Instrumentenanzeigen auftreten. Folgt er in solchen Situationen seinen illusionären Wahrnehmungen, kann es zum Orientierungsverlust und in dessen Folge zu einem Flugvorkommnis kommen. So entnehmen wir einer Mitteilung aus den USA, daß vier Prozent der Unfälle und vierzehn Prozent der Unfälle mit tödlichem Ausgang in einem Flugverband auf illusionär bedingte Desorientierung zurückgeführt wurden.
Die Stärke einer Illusion beim Fliegen geht von den leichten Graden mit kritischer Einsicht über eine kurzzeitige Verwirrung bis zum zeitweiligen oder völligen Verlust der Vorstellung über die räumliche

Lage des Flugzeuges. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle kommt es nur zu wenig beeindruckenden Sinnestäuschungen, die durch einen Blick auf die Instrumente sofort korrigiert werden können. Mitunter halten Illusionserlebnisse aber mehrere Minuten an und sind sehr beeindruckend. Das wichtigste ist ein schnelles Erkennen der Situation und eine kritische Einsicht, weil nur dadurch eine objektive Lagebeurteilung ermöglicht werden kann.

Es sind viele Flugillusionsphänomene beschrieben worden. Die Luftfahrtmedizin stützt sich bei der Systematisierung der Illusionen beim Fliegen auf die Angaben der Flugzeugführer. Die nachfolgende Aufstellung und Gliederung berücksichtigt die Erfahrungen der luftfahrtmedizinisch tätigen Ärzte sowohl der FMK der LSK/LV der NVA als auch den Bereich Verkehrsmedizin, Direktion Zivile Luftfahrt und der GST, wobei alle Flugzeugführer individuell befragt wurden. Außerdem wurden die Erfahrungen der internationalen luftfahrtmedizinischen Literatur, speziell der sowjetischen, berücksichtigt.
Die Einteilung erfolgt nach den an der illusionären Wahrnehmung überwiegend beteiligten Sinnesorganen, wobei visuelle Illusionen vor allem bei Flügen nach Sicht auftreten, also überwiegend bei Transportflugzeugführern und Hubschrauberführern, während die vestibulären Illusionen hauptsächlich von Jagdfliegern und Sportfliegern berichtet werden, obwohl sie allen Flugzeugführern bekannt sind.

4. Definition des Begriffes "Flugillusion"

Fassen wir die vorangegangenen theoretischen Betrachtungen zusammen, so stellen wir fest, daß die wesentliche Ursache des Auftretens von Flugillusionen in der auf das erdgebundene Leben abgestimmten Funktionsweise der an der räumlichen Orientierung beteiligten Analysatoren liegt, insbesondere deren Schwerkraftbezug, unter maßgeblicher Beteiligung des vestibulären Analysators, im Zusammenhang mit den über diese Analysatoren erworbenen, im Gedächtnis gespeicherten Vorstellungen über die räumlichen Umweltbeziehungen. Diese Analysatoren sind den bei Bewegungen im dreidimensionalen Raum auftretenden physikalischen Reizbedingungen nicht ausreichend angepaßt; am zuverlässigsten sind in der Regel die über die Augen, den optischen Analysator aufgenommenen Informationen natürlicher Objekte, so lange Erdsicht besteht.
So entstehen Flugillusionen auf der Grundlage von Störungen im funktionellen Zusammenwirken der Analysatoren, speziell von Störungen der beim Fliegen notwendigen führenden Rolle des optischen Analysators in diesem funktionellen System, und werden durch physiologische

Besonderheiten eines oder mehrerer der beteiligten Analysatoren, oder durch visuelle Falschinformationen begünstigt. Ihren Ausgangspunkt bilden schwierige äußere Flugfaktoren und/oder eine geminderte Kondition des Flugzeugführers. Eine besondere große Störanfälligkeit der geordneten funktionellen Zusammenarbeit der an der Bildung einer Vorstellung über die momentane räumliche Lage des Flugzeuges beteiligten Analysatoren besteht beim Instrumentenflug.
Die Folge einer Flugillusion ist eine Fehlorientierung aus der sich, wird sie nicht erkannt, eine falsche Handlungsstrategie des Flugzeugführers ergibt, die der tatsächlichen Situation nicht gerecht wird und zu einer gefährlichen Fluglage führen kann.

Der Begriff der Flugillusion kann demnach folgendermaßen kurz definiert werden: Unter einer Flugillusion versteht man eine der Wirklichkeit nicht gerecht werdende Verarbeitung und Deutung realer Sinneseindrücke beim Fliegen.

II. Visuelle Illusionen

1. Fehleinschätzung von Höhe und Entfernung

1.1. Falsche Abstandseinschätzung zu anderen Flugzeugen

In großer Höhe ist am wolkenlosen Himmel kein Detail vorhanden, um den Blick darauf scharf einzustellen. Im leeren Sehfeld stellt sich deshalb der Fern-Naheinstellapparat des Auges (Akkommodation), ähnlich wie im dunklen Raum, auf den Akkommodationsruhepunkt ein, der ungefähr in ein bis zwei Meter Entfernung vor dem Auge liegt (Raummyopie = Raumkurzsichtigkeit).
Taucht ein Objekt plötzlich auf, so braucht das Auge 1/2 - 3/4 Sekunde, um sich an den fernen Reiz anzupassen. Man schätzt sich weiter entfernt ein, als man tatsächlich ist. Auch das Halten der Fixation auf den Führenden im Verbandflug ist durch die Raummyopie erschwert. Das Sich-weiter-ab-Schätzen kann bei Aufholversuchen zu Unfällen führen. Aber auch das Gegenteil kann auftreten, wie ein Flugzeugführer der MIG-21 berichtete:
"Bei einem Nachtflug im Verband hatte ich folgende Täuschung. Als nach einem durchgeführten Kurvenflug das Kommando "geradeaus" kam, hatte ich den Eindruck, daß die andere Maschine auf mich zukam. Darauf bin ich zur freien Seite abgekurvt. Als ich dann meine Position wieder einnehmen wollte, wurde mir klar, daß die andere Maschine nicht auf mich zugekommen war, sondern sich entfernte."

1.2. Falsche Abstandseinschätzung zur Erde

Bei nachlassender Akkommodationskraft erfolgen vermehrte Impulse des Muskels zur erneuten Akkommodationsanspannung, so daß bei einer an sich unverändert bleibenden Netzhautbildgröße eines Objektes eine "Mikropsie", ein "Kleinersehen" entstehen kann. Das kann bei der Landung nach einem Flug in größerer Höhe zum Überschätzen der Entfernung und zu zu tiefem Abfangen führen (harte Landung). Im anderen Falle tritt bei Akkommodationskrampf (anstrengender Instrumentenflug) eine Entspannungstendenz mit "Makropsie" (Größersehen) auf. Der Raumeindruck liegt näher, die Entfernung wird unterschätzt und das Flugzeug zu hoch abgefangen. Es "sackt durch". Bei hohen Geschwindigkeiten kann der dabei auftretende verstärkte Naheindruck noch hinzukommen. Ermüdung, Schlafentzug und Sauerstoffmangel begünstigen diese Erscheinungen. Verläßt man sich auf das Augenmaß, ergeben sich Unfallmöglichkeiten bei der Landung.

Wird der Gleitwinkel bei der Landung zu groß, so verändert sich die perspektivische Sicht der Landebahn. Der Aufsetzpunkt "drückt sich etwas herab", das Rollfeld wird dadurch länger und leicht ansteigend gesehen. Ist der Winkel zu gering, so "hebt sich der Aufsetzpunkt an", das Rollfeld verkürzt sich scheinbar und scheint etwas abzufallen.

Abbildung 1: Wahrnehmung der Rollbahn beim Anflug bei normalem, zu großem und zu geringem Gleitwinkel

(Aus drucktechnischen Gründen befinden sich alle Abbildungen zusammengefaßt am Schluß des Textteiles.)

1.3. Effekt der Irradiation und des Fehlens von Kontrasten

Als Erscheinung der Irradiation bezeichnet man die durch helle Lichtstrahlen bedingte Mitreizung von Grenzzapfenzellen in der nervösen Augennetzhaut. Dadurch werden helle Flächen, wie Seen, Plätze, Schneefelder oder Sandflächen aus der Höhe als größer beurteilt als sie in Wirklichkeit sind. Etwa in 500 Meter Höhe gleichen sich die Verhältnisse einander an. Die dunklen Flächen nehmen an Größe etwas zu, die hellen Flächen ab.

Tiefflug über kontrastarmen Flächen erschwert die Distanzabschätzung. Agrarflieger berichten, daß sie über einförmigen Feldern ihre Flughöhe größer einschätzen als sie in Wirklichkeit ist ("Plötzlich rauschten die Räder durch das Korn"). Laubwald läßt sich auf Grund des ungleichmäßigen Wuchses und der Färbung der Bäume leichter überfliegen als Nadelwald, der gleichmäßig aufgeforstet ist.

1.4. Die Mondillusion

Die veränderte Größe des Mondes oder der Sonne in der Nähe des Horizontes hat seit altersher die Physiologen beschäftigt. So erscheint der aufgehende Vollmond hinter den Bäumen als wesentlich größer als der gleiche Mond später im Zenit. Hierbei handelt es sich um ein rein psychologisches Phänomen, das bei Beobachtung eines fliegenden Objektes in Horizontnähe eine Rolle spielen kann. Bewegt sich auf der Erde ein Objekt vom Beobachter weg zum Horizont hin, so nimmt das Objekt an Größe ab. Der Beobachter behält jedoch die richtige Größeneinschätzung bei, wenn er auch nach Erfahrung einen kleineren Sehwinkel anwendet. Ein Turm zum Beispiel, der sich zum Horizont hin nicht perspektivisch verkürzt, sondern seine Größe künstlich beibehält im Vergleich zu anderen kleinerwerdenden Gegenständen, erscheint als wesentlich größer.

Abbildung 2: Falsche Größenbeurteilung bei gleichgroß bleibendem Objekt gegen perspektivisch verkürzten (erscheinungsmäßig größenkonstanten) Hintergrund gesehen

Zum Betrachten des Mondes am Himmel braucht man einen Sehwinkel von etwa 1/2 Grad. Hält man irgend etwas davor, das auch 1/2 Grad Sehwinkel einnimmt (zum Beispiel 3 Streichhölzer i.d. Nähe), so bemerkt man, daß diese Streichhölzer den Mond, der wesentlich größer am Horizont erscheint, auch bedecken. Das beweist die illusionäre Empfindung. Es gibt aber noch andere beeinflussende Faktoren. So ist die Dunstschicht am Boden mitverantwortlich zu machen (Luftperspektive). Bei fehlenden Details wird, wie oben schon erwähnt, das Ziel stets kleiner gesehen.

2. Verkennung der Fluglage

2.1. Illusion der Unbeweglichkeit

In der Relativität der Bewegungen wird vom Menschen ein egozentrischer Standpunkt eingenommen. Der eigne Körper scheint sich in Ruhelage zu befinden. Der Flugzeugführer unterliegt dem Eindruck, daß seine Maschine im Vergleich zu einer anderen unbeweglich in der Luft schwebt. Nach dem Start im Steigflug kann das Gefühl entstehen, daß die Erde nach unten wegsinkt, oder bei der Landung auf den Piloten zukommt, was bei ihm ein Bedrängungsgefühl auslösen kann. Der noch ungeübte Sportflieger sieht im Looping die Erde um die Maschine wandern. Eine Eigenbewegung wird dabei nicht empfunden.
Am Boden ist diese Täuschung von der Eisenbahn bekannt. Bei Anfahren des Zuges auf dem Nebengleis weiß man nicht, ob der eigene oder der benachbarte Zug angefahren ist. Erst die Orientierung nach anderen Gegenständen, die es im Fluge meist nicht gibt, erteilt Klarheit.
Man kann auch Eigenbewegung empfinden, wenn der eigene Körper sich in Ruhe befindet. Das ist auf dem Wasser bei Wellengang oder bei Überqueren eines Flusses auf einer schmalen Brücke möglich. Das Gefühl der Eigenbewegung kann sehr überzeugend als Gegenbewegung sein und bei Korrekturen zu Unfällen führen.
Beim Landen eines Flugzeuges im Schneetreiben, wobei der Schnee quer über die Landebahn zur Seite weht, vermeint der Flugzeugführer nach der entgegengesetzten Seite abgetrieben zu werden und gerät bei einer Korrekturmaßnahme von der Rollbahn ab. Um das zu vermeiden, muß man sich feste Bezugspunkte suchen.

2.2. Verkennung der eigenen Lage in Bezug zu anderen Flugzeugen

2.2.1. Illusion des leeren Raumes

Eine Komponente dieser Illusion wurde bei der falschen Abstandseinschätzung erwähnt. Im allgemeinen umfaßt sie aber auch die Zeitverluste, die durch die physiologischen Latenzzeiten des Wahrnehmens, der Synthese im Gehirn und der Reaktion entstehen. Subjektiv erscheint dem Flugzeugführer ein anderer Flugkörper an der Stelle, an der seine Wahrnehmung begann, also in einer Vergangenheit, die bei sehr hohen Geschwindigkeiten eine Rolle spielt. Diese "blinden Zonen" werden als Distanzskotome bezeichnet. In der kürzest möglichen Wahrnehmungszeit von 0,1 Sekunden fliegt zum Beispiel ein Flugzeug, das eine Fluggeschwindigkeit von 1 Mach hat, 34 Meter, bei 3 Mach 100 Meter. In letzterem Falle bedeutet das, daß im Moment des Erkennens eines anderen Flugkörpers in scheinbar 50 Meter Entfernung voraus, dieser sich in Wirklichkeit schon 50 Meter hinter dem eigenen Flugzeug befindet. Bis es zur Reaktion kommt, ist dieses Flugzeug schon 500 Meter und bei 3 Mach schon 1,5 km geflogen. Es wäre denkbar, daß Flugzeuge kollidieren, ohne daß die Flugzeugführer sich gegenseitig bemerkt haben. Nur die Elektronik kann helfen, Radarleitsysteme und die absolute Disziplin in der Einhaltung des Flugregimes.

Tabelle 1

Geschwindigkeit v		in 0,1 Sekunde
900 km/h	250 m/s	25 m
1200 km/h (1 Mach)	340 m/s	34 m
3 Mach	1020 m/s	102 m

2.2.2. Illusion des Aufquellens und des Schrumpfens

Mit dem "Kleinerwerden" von Gegenständen verbindet der Mensch auf der Erde die Vorstellung der Bewegung des Entfernens und mit dem "Größerwerden" die des Näherns. Ungewohnt wird aber der Eindruck, wenn die Wahrnehmung des Bewegungsablaufes wegfällt. Blickt man - auf einer Brücke stehend - einem unten durchfahrenden Zug nach und lenkt vom letzten Wagen den Blick plötzlich auf die Böschung, so verliert sich der Bewegungseindruck und der letzte Wagen "schrumpft" an Größe. Das Umgekehrte tritt auf, wenn man auf einen sich nähernden Zug schaut und dann auf die Böschung, so nimmt die Lokomotive an Größe zu. Die Wahrnehmung von Geschwindigkeiten für den Menschen hat nicht nur untere sondern auch obere Grenzen. Werden Geschwindigkeiten über-

schwellig, so erscheint dem Flugzeugführer eine angeblich unbewegliche Maschine in ihren Größenmaßen "aufzuquellen" oder "zu schrumpfen". Er muß dann wissen, daß die Maschine im ersteren Fallen sich nähert und im anderen Falle sich entfernt. Bei hohen Landegeschwindigkeiten entsteht durch den verstärkten Naheindruck (Aufquellen der Bodenformation) das Gefühl "zu schnell unten zu sein". Amerikanische Kosmonauten berichteten zum Beispiel, daß sie sich über Australien vor der Landung etwa auf eine Höhe von 500 Meter einschätzten, während sie in Wirklichkeit 2500 Meter hoch waren.

3. Autokinese (Eigenbewegung)

Wird eine einzelne ruhende Lichtquelle in einem dunklen Raum fixiert, so werden vom Beobachter nach einer gewissen Zeit scheinbare Hin- und Herbewegungen des Lichtes wahrgenommen. Es entstehen scheinbare Winkelabweichungen um 2-3 Grad in der Sekunde. Die Gesamtabweichung der scheinbaren Bewegung kann bis zu 30 Grad betragen und hält in einer Richtung 9-12 Sekunden an, dann tritt langsames Rückwandern ein. Die Illusion wird erst nach einer Fixationsdauer der Augen von 7-9 Sekunden erlebt. Sie wird um so deutlicher empfunden, je kleiner der Durchmesser der Lichtquelle und je geringer ihre Leuchtkraft ist.

Die Unterscheidung wirklicher von scheinbarer Bewegung einer einsamen Lichtquelle im nächtlichen Dunkel kann für jeden Flugzeugführer schwierig werden. Die Besatzungsmitglieder können verschiedene Eindrücke haben. Im Verbandsflug können als Folge der Autokinese beim Fixieren des Schlußlichtes der Führungsmaschine Kursabweichungen beim Geführten entstehen. Die Forderung nach zwei Hecklichtern an Flugzeugen wirkt diesem entgegen, denn treten andere Lichter zu dem fixierten Licht hinzu, so reduziert sich die autokinetische Bewegung. Sie wird aber nicht unbedingt aufgehoben. Wegblicken vom Ziel gilt als Gegenmittel und löscht die Illusion.

Auf Grund anderer Schwingungsausmaße können als physiologische Ursachen dieser Erscheinung Fixationsschwingungen, ruckartige (nystagmoforme) Zuckungen der Augen und Vibrationen nicht in Frage kommen. Man nimmt an, daß die Ursache in der Aktivität der Augenmuskeln selbst liegt, die das visuelle Bewegungsgefühl erzeugt. Der Fixationsprozeß birgt eine Spontanaktivität in sich. Bei längerer Fixation müssen mehr motorische Einheiten der Augenmuskeln herangezogen werden.

Diese Illusion ist aus physiologischen Gründen in der Arbeit des Flugzeugführers nicht zu vermeiden. Es ist wichtig, sie zu kennen. Der

Flugzeugführer muß wissen, daß man ein Objekt nicht länger als 8 Sekunden lang ununterbrochen fixieren darf und bei Zweifeln Wegblicken und mehrfach wiederholtes Fixieren von Nutzen sind.

4. Horizontverkennung

4.1. Gefühl der Bodenlosigkeit

Eine Illusion über Lage und Ausmaße kann durch falsche Horizontbestimmung entstehen. Beim Blick aus nicht allzu großer Höhe (1500-3000 m) erscheint die Höhe zum Boden im Vergleich zur Weite des Horizontes gering. Bei Blickrichtung nach unten wird der Erdabstand empfunden, während die durch die Augendrehpunkte gehende Horizontale 1-3 Grad niedriger als die Horizontlinie gesehen wird. Die Erde gewinnt dadurch ein schüsselförmiges Aussehen mit Anstieg der Ränder zum Horizont hin. Der Erdhorizont "taucht auf" und "schwindet" über den Tragflächen des Flugzeuges.

In sehr großer Höhe dagegen (etwa 15 000 m) erscheint die Horizontlinie um 4 Grad gesenkt im Vergleich zur Horizontalebene, die durch beide Augendrehpunkte läuft. Stehen Mond oder Sonne nahe dem Horizont, so kann man sie scheinbar "unterhalb" des Horizontes sehen und plötzlich das Gefühl der umgekehrten Fluglage (Rückenlageillusion) bekommen.

Abbildung 3: Sehwinkel zum Erdhorizont aus geringer und aus großer Höhe

4.2. Falsche Einschätzung der Lage zum Horizont durch Wolkenbildung

Fliegt ein Flugzeug horizontal in die Wolken ein, so können beim Austritt aus den Wolken diese verschieden getürmt und gelagert sein und schräg zum Horizont verlaufen. Dem Flugzeugführer können Zweifel an der Lage der Maschine aufkommen. Stößt er im Kurvenflug aus den Wolken, so könnte er die Schräglage nicht auf sein Flugzeug beziehen und hätte mit dem Eindruck zu kämpfen, daß die Erde unter ihm "schief" sei.

Bei schlechter Flugvorbereitung wird der Mond, wenn man aus den Wolken stößt, an einer anderen Stelle erwartet, als er zu dieser Zeit steht. Der Horizont wird falsch beurteilt.

4.3. Horizontverschiebung

Die Lage des Flugzeuges kann falsch eingeschätzt werden, wenn in einem

Kurvenflug eine Horizontlinie oder Küstenlinie plötzlich unter einem anderen Winkel gesehen wird. So kann bei einem Flug entlang der Küste bei etwas nebeligem Wetter die helle Brandungslinie plötzlich ansteigen und das Gefühl geben, daß das Flugzeug sich neigt. Ein Versuch des Aufrichtens würde Höhenverlust bewirken.

5. Fata Morgana

Steht die Sonne im Zenit und bilden sich in feuchtheißen Gegenden Dunstschichten am Boden, so kann es zu Erscheinungen der Doppelbrechung kommen, wobei sich die Lichtstrahlen auch an der Dunstschicht brechen. Der Flugzeugführer sieht beim Landeanflug infolge luftperspektivischer Verspiegelung plötzlich zwei Landebahnen in einem gewissen Abstand übereinander. Die obere Bahn, die eine Spiegelung der Dunstschicht ist, zu "durchbrechen", wenn man die Ursache nicht kennt, erfordert Mut. Kurzes Zögern kann Zeitverlust beim Landevorgang und Unfallmöglichkeiten heraufbeschwören.

Abbildung 4: Doppelbrechung des Lichtstrahles bei senkrechten Sonnenstand und Dunstschicht über dem Erdboden

6. Verkennung von Lichtpunktobjekten

6.1. Verkennung des Charakters der Lichtquelle

Flugzeuglichter können mit Sternen und Bodenlichtern verwechselt werden oder umgekehrt. Die Folge ist falsche Positionseinschätzung. Zur Illustration soll folgende Schilderung eines Jagdfliegers dienen: "Ich startete als Geführter zuerst und sollte nach einer Platzrunde auf den Führenden aufschließen, der zu einem berechneten Zeitpunkt starten sollte. In der vierten Kurve sah ich das Flugzeug starten und beobachtete es bis nach der ersten Kurve, verlor es dann aber aus dem Gesichtskreis. Nun nahm ich einen Stern als Positionslampe dieses Flugzeuges an und erhöhte die Geschwindigkeit bis fast zur maximalen, konnte jedoch keine Annäherung feststellen. Nach etwa einer Minute erst stellte ich durch Befragen des Führenden nach seiner Geschwindigkeit und nach seinem Standort den Irrtum fest und kam zur Erkenntnis, daß ich einem falschen Ziel nachgejagt war."

6.2. Verkennung der Lage der Lichtquellen

Ein kurzer Lichtreiz wirkt heller als ein ständig strahlendes Licht. Hellere Lichter wirken "näher" im Vergleich zu schwächeren Lichtern.

Im bergigen Gelände könnten die helleren Lichter deshalb auch als "höher liegend" beim Blick von oben angenommen werden. So können Lichterketten in der Horizontalen und in der Vertikalen zur Erdoberfläche verzogen erscheinen, obwohl die in der Leuchtkraft unterschiedlichen Lichter in gleicher Ebene liegen.
Ähnlich wie am Tage oder in der Dämmerung Täuschungen an hellen Küstenstreifen beschrieben werden, die Steig- und Gleitempfindungen erzeugen, so können nachts Lichterketten scheinbar ansteigen und Eigenbewegung der Neigung empfinden lassen. Tatsächlich an Berghängen ansteigende Lichterketten können als Illusion gedeutet werden. Wird die Kette einer Lichterreihe aus der Kurve heraus in einem Winkel gesehen, so kann sie für horizontal gehalten werden.

6.3. Zersplitterung von Lichtquellen

Lichter können doppelt, verzogen oder zerfasert wahrgenommen werden.

6.4. Verkennung der Bewegung von Lichtern

Die Gesetze der Relativbewegung gelten auch für das Betrachten von Lichtern. Ob Eigenbewegung mit Steigen und Gleiten besteht oder die Lichter sich bewegen ist oft schwer zu entscheiden.

7. Sternumzingelung

Im Steigflug und in größeren Höhen vermischen sich mit den noch wahrgenommenen Erdlichtern die klarer werdenden Sterne und man empfindet, wenn die Horizontlinie nicht mehr zu erkennen ist, eine Isolierung von der Erde und das Gefühl, von lauter Sternen umzingelt zu sein. Oder die Sterne spiegeln sich über Schneewolken in den kleinen Eiskristallen der Wolken oder im Wasser über See und geben den gleichen Effekt. Eine andere Entstehungsmöglichkeit dieser Illusion ist bei steilen Steigflügen gegeben. Beim Blick aus der Kabine sieht der Flugzeugführer in klaren Nächten infolge des begrenzten Gesichtsfeldes ebenfalls nur Gestirne. Diese Illusion wird von den Flugzeugführern als sehr beeindruckend geschildert, wie das folgende Beispiel zeigt: "Kurz vor Einleiten der sechsten Kurve, also noch Horizontalflug, hatte ich beim Blick aus der Kabine das Gefühl, rings von Sternen umgeben zu sein. Es bestand starker Durst. Ich sah die Sterne vor und unter mir und dachte, daß ich mich im Steigflug befinde. Deshalb ging ich in Gleitflug von 40 - 60 m/sec über und verlor ca. 2000 m Höhe. Nachdem ich den Höhenverlust bemerkt hatte, schaute ich nicht mehr hinaus und flog

nur nach Geräten. Diese Illusion dauerte etwa zwei Minuten."

8. Die umgekehrte Fluglage

Besonders über Wasser oder über den Wolken, wenn Gestirne sich nachts spiegeln können - eingeleitet oft durch die Illusion der Sternumzingelung - kann es zur Illusion des Rückenfluges kommen. Ein sowjetischer Flieger wunderte sich, daß er beim Sinken der Sonne entgegen fiel. Erst jetzt erkannte er, daß er durch Sonnenspiegelung in unter ihm liegenden Wolken das Flugzeug auf den Rücken gedreht hatte. Die Illusion der umgekehrten Fluglage ist sehr gefährlich, weil durch sie besonders kritische Flugsituationen entstehen können, insbesondere dann, wenn der Flugzeugführer versucht, die scheinbare Lage zu berichtigen und nun tatsächlich in den Rückenflug übergeht. 8,5 % der MiG-Piloten erlebten diese Illusion bereits selbst. Trotz dieser relativ kleinen Zahl hat diese Illusion besonders große Bedeutung, weil durch sie immer wieder Flugkatastrophen vorkommen. CAKOV schlußfolgerte, daß die Illusion der Rückenlage langdauernd und stabil auftritt, und daß ihre Beseitigung nur durch unbedingten Instrumentenflug und durch straffe Flugleitung möglich ist. Hier eine besonders eindrucksvolle Schilderung: "In 9500 m ging ich in Horizontalflug über. Bei 700 km/h begann am Panzerglas der Kabine von rechts nach links ein schweißbogenartiges Blitzen. Ich kannte das bisher nur vom Hören, und es lenkte mich ab und störte mich erheblich. Auf einmal stellte ich fest, daß ich Rükkenfluglage hatte. Auf dem AGI konnte ich die Lage nicht unterscheiden, da die Farbunterschiede nicht erkennbar waren und das Gerät Horizontalflug anzeigte. Mein ganzes Gefühl sagte mir aber, daß ich Rükkenflug hatte. Nach einiger Zeit kam mir der Gedanke, daß ich die Rückenlage beseitigen müßte. Ich zog den Steuerknüppel, um einen Abschwung zu machen. Ich blickte auf die Geräte und erkannte nichts. Plötzlich bemerkte ich die stark verminderte Fluggeschwindigkeit von 280 km/h. Daraufhin sah ich auf das Variometer und stellte 15m/sec Steigflug fest. Der Höhenmesser zeigte schon über 10 000 Meter. Ich war erschrocken über den Geschwindigkeitsverlust bis nahe an die Trudelgeschwindigkeit und bekam einen Schweißausbruch. Mir kam zum Bewußtsein, daß ich unter diesen Bedingungen den Flug nicht fortsetzen konnte. Bevor ich meinen Entschluß zum Katapultieren melden konnte, fiel mir ein, daß ich viel zu hoch sei und erfrieren würde. Ich versuchte, mir über die Fluglage Klarheit zu schaffen. In diesem Moment bekam ich vom Gefechtsstand die Anweisung, auf neuen Kurs überzugehen. Automatisch leitete ich die Linkskurve ein, wobei ich das Gefühl hatte, zwei- bis dreimal nach rechts zu rollen. Ich führte den Kurvenflug durch, ohne mir völlig darüber im Klaren zu sein, be-

endete inn aber auf dem richtigen Kurs mit Unterschreitung der Höhe. Demnach muß ich erheblichen Kurvengleitflug geflogen sein. Nach diesem Ausleiten stellte sich die Orientierung wieder her. Die Bewölkung riß bald darauf auf und ich konnte vom Boden Lichtflecke erkennen. Die Illusion der Rückenfluglage hatte mindestens zwölf Minuten gedauert. Das war der schlimmste Flug, den ich erlebt hatte."

III. Illusionen mit vorwiegend vestibulärem Charakter

1. Die verläßlichste Bezugsgröße für die Raumorientierung stellt für uns, wie bereits gesagt, die Erdbeschleunigung mit der ihr entsprechenden Schwerkraftrichtung dar. Auf ihr bauen sich alle unsere Raumorientierungs- und Gleichgewichtsregulationen auf. Sie ist demzufolge fest in unserem Raumgedächtnis verhaftet. Nach ihr bestimmen wir gefühlsmäßig das Unten und Oben.

Schon 1820 beschäftigte man sich näher mit der Beobachtung, daß auf einem Kettenkarussell sitzende Menschen ihre aufrechte Haltung nicht beibehalten sondern bestrebt sind, sich zum Rotationszentrum hinzuneigen. Durch die Einwirkung der Zentrifugalkraft stimmt die von ihnen empfundene Vertikale nicht mehr mit der wirklichen Schwerkraftrichtung überein. Die Menschen bringen ihre Körperlängsachse mit der empfundenen Vertikalen, dem Scheinlot, in Einklang. MACH bezeichnete die sich aus dem Kräfteparallelogramm von Fliehkraft und Schwerkraft ergebende Resultierende als "Gravitationsvertikale". Ihre Richtung ist bei Bewegungen auf einer gekrümmten Bahn in der Horizontalebene (Karussell) nur von der Größe der Fliehkraft abhängig, d.h. bei konstanter Masse nur vom Krümmungsradius und dem Quadrat der Winkel- und Tangentialgeschwindigkeit. In der Vertikalebene dagegen zusätzlich auch von der Wirkrichtung.

Wie verhält es sich nun mit den vornehmlich vom Vestibularapparat vermittelten Bewegungs- und Lageempfindungen beim Fliegen?

1.1. Der Vestibular- oder Gleichgewichtsapparat, ein paariges Organ und im Innenohr gelegen, ist bekanntlich ein Beschleunigungsaufnehmer für Winkel- und Linearbeschleunigungen. Gleichförmige Bewegungen werden nicht von ihm registriert, das ist nur mit Hilfe der Augen möglich.

1.1.1. Der Aufnehmer für Linearbeschleunigungen ist der sogenannte Otolithenapparat des Vestibularorgans (Otolith = Ohrsteinchen). Er besteht aus zwei senkrecht aufeinanderstehenden schlauchartigen Gebilden, deren Sinnesendstellen oder Rezeptoren in Form feiner, beweglicher Härchen in je eine mit Kalziumkristallen angereicherte Membran eingebettet sind. Diese stellt eine Art Trägheitspendel dar, denn wird der Körper beziehungsweise der Kopf geradlinig beschleunigt, verlagert sich die Otolithenmembran infolge ihrer Massenträgheit und es wird die Empfindung einer veränderten Lage des Kopfes im Raum hervorgerufen. Die Abweichung ist proportional der Beschleunigungsgröße und

hält so lange an, wie die Beschleunigung einwirkt. Im Falle der Erdbeschleunigung also ständig.

1.1.2. Winkelbeschleunigungen werden über den Bogengangsapparat des Vestibularorgans perzipiert. Er besteht aus drei senkrecht aufeinanderstehenden und in den drei Raumebenen angeordneten Bogengängen. In jedem Bogengang befindet sich ein Rezeptor, der aus feinen Sinneshärchen aufgebaut ist, die zu einer Art Pendeltür zusammengeklebt sind und sich wie eine solche nach beiden Richtungen bewegen lassen. Sie werden jedoch nicht wie im Falle der Otolithenmembran direkt durch ihre eigene Massenträgheit bewegt, sondern indirekt durch eine in jedem Bogengang befindliche Flüssigkeit, die sogenannte Endolymphe. Wirkt eine Winkelbeschleunigung ein, dann bleibt die Endolymphe des sich in der Drehebene befindlichen Bogenganges infolge ihrer Massenträgheit gegenüber der Bogengangswand zurück und lenkt so die "Pendeltür" aus. Auch hier ist die Abweichung in einem großen Bereich der Beschleunigungsgröße proportional und hält so lange an, wie die Beschleunigung einwirkt. Wird der Körper mit zunehmender Geschwindigkeit gedreht, dann werden durch diese Sensoren Drehempfindungen in der Drehrichtung ausgelöst. Ein plötzliches, hartes Abstoppen einer Drehung ruft ein Drehgefühl entgegengesetzt der vorherigen Drehrichtung hervor. Beim Ausleiten einer Rolle kann das zu einem Gegendrehgefühl, zu einer Illusion der Gegendrehung führen.

1.2. Beim Fliegen kommt es nun ständig zu mehr oder weniger großen Winkelbeschleunigungen, und es treten vom Flugzeugführer gewollte oder ungewollte Linearbeschleunigungen bzw. -verzögerungen beliebiger Richtung auf. Durch diese Bewegungen im dreidimensionalen Raum verändern sich also die physikalischen Reizbedingungen. Sie bewirken, daß unsere auf die horizontale Erdoberfläche bezogene Schwerkraftorientierung nicht mehr stimmt. Im Flugzeug wird vielmehr die Erdbeschleunigung durch die zusätzlich auftretenden Linearbeschleunigungen modifiziert; sie bildet mit ihnen eine Kräfteresultierende. Das bedeutet, daß die beim Fliegen auftretenden Lage- und Bewegungsempfindungen, die hauptsächlich vom Vestibularanalysator geprägt werden, unzuverlässig und untauglich für eine richtige Orientierung über die Lage und die Bewegung des Flugzeuges im Raum geworden sind. Unter diesen Bedingungen kann nur das Auge ein reales Abbild der Lage zum Horizont vermitteln. Und so wird es verständlich, daß es zu Irrtümern kommt, wenn der optische Analysator nicht seine neue, führende Rolle bei der

räumlichen Orientierung im Fluge übernehmen beziehungsweise ausfüllen kann, und die aus den verschiedenen Analysatoren eingehenden Informationen nicht übereinstimmen.

1.3. Im Hinblick auf die Entstehung von Fluglllusionen sind seitens des Vestibularapparates die Reizschwellen für Linear- und Winkelbeschleunigungen besonders bedeutsam. Bleiben diese Reize unterschwellig, können - bei Nichtbeachtung der Instrumente - ungewollt und unbemerkt Kurven geflogen, eine Schräglage, ein Steig- oder Sinkflugwinkel eingenommen werden. Diese Reizschwellen, also die Reizstärke, bei der gerade eine Bewegung in einer bestimmten Richtung bemerkt wird, sind unter normalen Erdbedingungen relativ niedrig, im Flugzeug aber deutlich höher, d.h. Bewegungen werden später bemerkt. Man nimmt an, daß im wesentlichen die Vibration der Maschine die Ursache dafür ist.
Die Empfindungsschwelle, bei der eben eine lineare Lageänderung wahrgenommen wird, liegt bei Beschleunigungswerten von 0,005 bis 0,01 g bzw. 5 cm/s^2 bis 10 cm/s^2. Im Flugzeug liegt sie in etwa bei 0,07 g (70 cm/s^2). Die beim Fliegen ständig einwirkenden positiven und negativen Beschleunigungen betragen jedoch normalerweise ein Vielfaches davon und liegen im Bereich von 0,5 bis 8 g.
Die Reizschwellen für Winkelbeschleunigungen werden mit 0,5 bis 1 °/s^2 angegeben. Im Flugzeug liegen auch sie höher und betragen 2 - 3 °/s^2.
Schräglagen bis zu 10 - 20 Grad können unterschwellig bleiben. Eine Neigung um die Querachse wird beim Aufbäumen um 7 - 24 Grad und beim Abwärtskippen um 4 - 10 Grad nicht bemerkt.

Abbildung 5: Die Bewegungsachsen des Flugzeuges

2. Illusionen der Lage und der Drehung

2.1. Illusion der Schräglage

Wird unterschwellig eine Schräglage eingenommen und nicht bemerkt, das Wiederaufrichten aber für den vestibularapparat überschwellig vorgenommen, dann kann der Flugzeugführer der Illusion unterliegen, sich in einer entgegengesetzten Schräglage zu befinden.
Bemerkt er in einem anderen Falle das ungewollte Einnehmen einer Schräglage, nicht aber das Wiederaufrichten, so vermeint er, weiterhin mit einer Schräglage zu fliegen.
Zu einer Schräglageempfindung kann es zum Beispiel kommen, wenn das Flugzeug im Geradeausflug schiebt und zwar mit oder ohne Steig- bzw.

Sinkflugwinkel. Beim Schieben links kann es zu einer Illusion der Rechtsschräglage und rechts zu der einer Linksschräglage kommen, weil eine dem Schiebewinkel proportionale Querkraft entsteht, der eine Überlastung auf den Flugzeugführer in der y-Achse nach der Gegenseite entspricht und über den Otolithenapparat ein Gefühl der Querneigung entgegengesetzt der Schieberichtung auslösen kann.
94 Prozent aller Jagdflieger, Flugschüler und Transportflieger haben schon Schräglageillusionen erlebt. Sie sind die absolut häufigsten Illusionen. Bei einer Langzeitstudie im Institut für Luftfahrtmedizin Königsbrück (1967) wurde festgestellt, daß 75 Prozent aller Illusionserlebnisse bei Jagdfliegern zu dieser Kategorie gehören.

2.2. Steig- und Gleitempfindungen im Geradeausflug

Wird ein Flugzeug, das sich bei gleichbleibender Geschwindigkeit im Horizontalflug befindet, beschleunigt, dann wird der Flugzeugführer mit der gleichen Kraft in den Sessel gedrückt, und die Mechanorezeptoren des Rückens und des Gesäßes melden einen möglichen Steigflug. Gleichzeitig wird im neuen Kräfteparallelogramm die resultierende Kraft zur angenommenen Vertikalen. So signalisiert der Otolithenapparat des Gleichgewichtsorgans ebenfalls eine Steigflugempfindung, die bei sehr hohen Geschwindigkeiten bis zur Rückenflugillusion gehen kann.
Beschleunigungskräfte in Gegenrichtung, eine sogenannte Dezeleration, die beim Abbremsen auftreten, heben den Flugzeugführer aus dem Sitz und die empfundene Vertikale erzeugt eine Gleitempfindung, die bei hohen Geschwindigkeiten sich bis zum Sturzfluggefühl steigern kann.

Abbildung 6: Steigflugempfindung beim Beschleunigen im Horizontalflug und Sinkflugempfindung beim Abbremsen

2.3. Steig-Gleitempfindungen im Kurvenflug

Bleiben Winkelbeschleunigungen unterschwellig und wird der dabei auftretende leichte Druck in den Sessel vorrangig bemerkt, so kann eine Steigempfindung ausgelöst werden.
Beim Ausleiten aus dem Kurvenflug läßt der Druck in den Sitz durch Aufhören der Einwirkung von Winkelbeschleunigungskräften nach. Das kann als Gleiten gedeutet werden.

2.4. Falsche Einschätzung des Kurvenfluges

2.4.1. Unterschätzung des Kurvengrades

Auf Grund der Unterschätzung des Grades der Kurve nimmt der Flugzeugführer die Kurve zu steil. Von Agrarfliegern wurde öfter angegeben, daß das nach vielen Einsätzen auftreten kann (Ermüdung).

2.4.2. Illusion des fortlaufenden Kurvenfluges

Behält der Flugzeugführer nach Ausleiten aus der Kurve eine Schräglage im Sinne der eben geflogenen Kurve bei, so hat er den Eindruck, daß er sich weiterhin in der Kurve befindet. Flugzeugführer berichten, daß sie trotz der richtigen Orientierung nach den Instrumenten versuchten, sich von dem unangenehmen "Kurvengefühl" durch Korrekturneigung zu lösen. Wird eine Kursabweichung mit einer abrupten Bewegung des Steuerknüppels korrigiert, kann das Empfinden des fortlaufenden Kurvenfluges auftreten.

2.4.3. Illusion der Gegendrehung im Kurvenflug und bei Ausleiten des Kurvenfluges

Gleiten in der Kurve kann das Gefühl der Gegendrehung über Signale von den druckmechanischen Rezeptoren der Gesäßhaut erzeugen. Befindet sich zum Beispiel der Flugzeugführer in einer Linkskurve und geht in ein Gleiten über, so hebt es ihn leicht aus dem Sitz und der rechtsseitig stärker empfundene Andruck läßt nach. Er vermeint eher jetzt nach links gedrückt zu werden und überträgt dieses in das Gefühl : Kurvenflug nach rechts.
Bei Aufhören der Einwirkung von Beschleunigungskräften bei Ausleiten des Kurvenfluges erzeugt die Trägheit des noch weiter laufenden Flüssigkeitsstromes der Endolymphe in den Bogengängen des Gleichgewichtsapparates das Empfinden "entgegen", und damit die Illusion der Gegendrehung.

2.4.4. Illusion der Gegendrehung bei unsauberer Durchführung des Kurvenfluges

Dreht sich das Flugzeug infolge eines Steuerfehlers während eines Kurvenfluges gering um die Hochachse, so verlagert sich bei diesem "Schieben" die resultierende Kraft im Vektorparallelogramm. Es entstehen ferner auch Tonusverschiebungen von Muskelgruppen, welche durch

seitendifferentes Anschnallen noch verstärkt werden und über die druckmechanischen Rezeptoren der Haut falsche Informationen geben können.
Schiebt sich im Kurvenflug die periphere, äußere Tragfläche vor (äußeres Schieben), weil das Seitenruder zu stark in Kurvenrichtung ausgetreten wurde, wird die eingenommene Schräglage für den Kurvenradius zu groß. Infolgedessen entsteht eine zusätzliche Querkraft zur Zentrifugalkraft, die das Außenschieben verursacht. Sie bewirkt eine zum Kurvenmittelpunkt gerichtete Überlastung auf den Gleichgewichtsapparat des Flugzeugführers, welche das Gefühl einer verstärkten Schräglage nach der gleichen Seite hervorruft. Beim Aufrichten in die vermeintliche Senkrechte registriert das Gleichgewichtsorgan eine scheinbar entgegengesetzte Schräglage in der Kurve, die bis zur Illusion des umgekehrten Kurvenfluges führen kann.

Abbildung 7/1 und 7/2: Unkoordinierte Steuerführung im Kurvenflug, Außenschieben

Wurde das Seitenruder nicht genügend in Kurvenrichtung ausgetreten, ist der Kurvenradius für die eingenommene Schräglage zu klein, die innere Tragfläche schiebt sich vor (inneres Schieben). Es kommt zum Abrutschen des Flugzeuges nach innen, weil die entstehende Zentrifugalbeschleunigung zu klein ist und es entsteht eine nach innen gerichtete Kraft, welche das Abrutschen bewirkt. Auf den Flugzeugführer wirkt dadurch eine dem Kurvenmittelpunkt entgegengesetzte Überlastung und die Neigung zum Zentrum wird als zu gering erachtet. Beugt sich der Flugzeugführer in die von ihm empfundene scheinbare Vertikale, dann kann über das Gleichgewichtsorgan das Gefühl einer zu großen Schräglage bis zur Empfindung des Abtrudelns erzeugt werden.

Abbildung 8: Unkoordinierte Steuerführung beim Kurvenflug, Innenschieben

2.5. Illusionen beim Ein- und Ausleiten einer Rolle

Hierbei ist die Entstehung einer Illusion der Gegendrehung besonders leicht möglich.
Durch zu hartes, bzw. schnelles Ausleiten einer Rolle kann es beim Übergang in den Horizontalflug zum Entstehen einer für den Bogengangsapparat überschwelligen negativen Winkelbeschleunigung kommen. Der Flugzeugführer hat das Gefühl als würde sich das Flugzeug, nunmehr ungewollt, zur Gegenseite um seine Längsachse drehen. In Unkenntnis der Sachlage ist die Fehlhandlung möglich durch entsprechende Steuerbewegungen, in dem Bestreben die vermeintliche Rollbewegung zu beenden, das Flugzeug wieder in der ursprünglichen Richtung zum Rollen zu bringen.

In solchen Fällen ist schon allein das Wissen von größter Bedeutung, daß beim Abstoppen von Drehbewegungen des Flugzeuges Drehnachempfindungen entstehen können, nachdem das Flugzeug die angestrebte Horizontalfluglage schon eingenommen hat, um derartige Fehlhandlungen nicht zu begehen. Immerhin sind die beim Rollen auftretenden Winkelgeschwindigkeiten durchaus geeignet, ziemlich hohe und überschwellige negative Winkelbeschleunigungen auszulösen. Bei der L-29 zum Beispiel beträgt die Winkelgeschwindigkeit einer Rolle normalerweise 36 - 40°/s, das sind 8 - 10 s pro Umdrehung. Die schnellsten Rollen werden bei diesem Typ mit Winkelgeschwindigkeiten zwischen 60 und 80°/s geflogen, bei einer gesteuerten Rolle beträgt sie 12°/s (pro Umdrehung 30 s). Ein Stop aus 36°/s in 4 s ergäbe bereits eine negative Winkelbeschleunigung von $9°/s^2$, ein bereits deutlich überschwelliger Wert. In der Literatur wird mitgeteilt, daß es im Flugzeug bereits beim Übergang von einer konstanten Winkelgeschwindigkeit von 12°/s auf 0°/s zu Drehnachempfindungen kommt. Das wären immerhin $12°/s^2$ bei einer Wirkzeit der negativen Winkelbeschleunigung von 1 s, $6°/s^2$ bei 2 s, $3°/s^2$ bei 4 s und $2°/s^2$ bei 6 s Wirkzeit. Diese angegebenen Beschleunigungswerte sind alle im Zusammenhang mit den entsprechenden Wirkzeiten geeignet, Drehnachempfindungen auszulösen.

Anstatt eines regelrechten Drehgefühl kann auch nur ein Gefühl entstehen, nach der anderen Seite geneigt zu werden und das Flugzeug würde in dieser Querneigung verharren. Diese Illusion der Schräglage kann alle Grade des Schräglagegefühls annehmen und sich auch bis zur Illusion des Rückenfluges steigern.

2.6. Illusion beim Trudeln

Beim absichtlichen (Kunstflugfigur) oder unbeabsichtigten Überziehen des Flugzeuges dreht sich dieses um eine außerhalb seiner Längsachse liegende Achse steil nach unten. Diesen Flugzustand bezeichnet man als Trudeln. Dabei entsteht ein Höhenverlust in einer steil abwärtsgehenden Spirale mit kleinem Radius.

Die Winkelbeschleunigungen beim Abkippen zum Trudeln erreichen 40 - 50 Grad/s^2. Es kommt zu starken Erregungen des Gleichgewichtsapparates, besonders der horizontalen Bogengänge, wenn auch die übrigen Bogengänge in der Vertikalebene mit beansprucht werden. Mit Hilfe okulomotorischer Anpassungen (ruckartige Augenbewegungen, Nystagmus) wird die Drehempfindung über den optischen Analysator zunächst noch

richtig ausgelegt und das Bild der Außenwelt auf der Netzhaut des Auges stabilisiert, so daß eine Orientierung noch möglich ist.
Da das Gleichgewichtsorgan nur auf Beschleunigungsreize antwortet und sich an gleichförmige Dauerreize anpaßt, erhält nach einer gewissen Zeit das vestibulare Zentrum keine Reizsignale mehr. Die Zeitkonstante, in der die vestibulären Impulse erlöschen, beträgt in der Drehebene um die Hochachse für die horizontalen Kanäle 16 Sekunden, für die Drehebene um die Querachse und um die Längsachse in den vertikalen Kanälen nur 5 Sekunden.
Wird zu Beginn des Trudelns noch klar gesehen, so verschwimmt jetzt (etwa nach 5 Umdrehungen) das Bild der Außenwelt. Die Umdrehungen können nicht mehr gezählt werden. Es entstehen Widersprüche zwischen dem Gleichgewichtsempfinden und der Sehinformation. Nach 20 Sekunden wird die optokinetische Folge ungleich. Es entsteht der Eindruck, daß sich die Trudelbewegung beschleunigt. Nach 30 Sekunden kann mit einer völligen Desorientierung gerechnet werden. Deshalb sollten diese physiologischen Abläufe unbedingt für die Flugsicherheit beachtet werden. Trudelbewegungen sollten bei der Anfangsschulung nicht länger als 5 Sekunden dauern und nur langsam zeitlich gesteigert werden. 30 Sekunden sollten aber auch von erfahrenen Piloten nicht überschritten werden.
Beim Ausleiten aus dem Trudeln kann es zu der oben geschilderten Illusion der Gegendrehung kommen. Das Gleichgewichtsorgan meldet: Gegendrehung, das Auge: Blickfeld dreht zunächst noch in der alten Weise vorbei. Die widersprüchlichen Empfindungen können 5 - 11 Sekunden andauern. Unterliegt ein Pilot dieser Illusion und beginnt, weil sie vielleicht im Plan ist, in dieser Zeit mit einer zweiten Trudelfigur, so kann für einen Unerfahrenen eine ernste Situation entstehen. Er vermeint, daß die zweite Figur in Gegenrichtung verläuft. Das führt zur Desorientierung. Der Flugzeugführer findet aus der Trudelbewegung nicht mehr heraus.

Abbildung 9: Trudelfigur. Die Aufsicht von oben weist auf die heftige Rotation bei diesem Manöver

Wird eine Spirale zu "eng" ausgeführt, so preßt die Fliehkraft den Flugzeugführer stärker in den Sitz, so daß er trotz des starken Sinkens von den Druckrezeptoren das Gefühl eines scheinbaren Steigens vermittelt bekommt. Drücken mit dem Steuerknüppel würde zur Überlastung des Abwärtstrudeln führen.

Abbildung 10: Die Trudelfigur: Sinken, Ausleiten und Wiedereinleiten mit Übergang von Linkstrudeln in Rechtstrudeln

Abbildung 11: Wachsende g-Kraft bei zu steiler Spirale

Kopfbewegungen sind beim Trudeln zu vermeiden, denn die dabei auftretende Coriolisbeschleunigung erzeugt eine starke Reizung der vertikalen Bogengänge, die eine Illusion der Verschiebung der Rotationsebene auslösen kann.

3. Illusionen bei Einwirkung der Coriolis-Beschleunigung

Während des Trudelns ist noch eine besonders beeindruckende Illusion möglich, die sogenannte Coriolis-Illusion.
Zu Beginn des Trudelns treten bis zum Erreichen einer stationären Rotation um die x-Achse recht erhebliche überschwellige Winkelbeschleunigungen von 40 bis 50°/s² für die Dauer von 1 bis 2 Sekunden auf, die dementsprechend zu einer Winkelgeschwindigkeit bis 100°/s führen. Beugt der Flugzeugführer nun während der Drehung seinen Kopf nach vorn, um zum Beispiel in der Kabine etwas genauer zu betrachten, so entsteht durch diese Bewegung eine zusätzliche, sogenannte Coriolis-Beschleunigung, die als Reiz auf das Otolithenorgan einwirkt. Gleichzeitig werden die beiden vertikalen Bogengangspaare aus der Drehebene entfernt, das horizontale aber eingeschaltet. Auf beide wirkt dabei ein erheblicher Winkelbeschleunigungsreiz bis zu 100°/s², je nachdem wie schnell die Kopfbewegung ausgeführt wird. Zu den so ausgelösten "Coriolis-Effekten" gehören neben ruckartigen Augenbewegungen (Nystagmus) und einer manchmal schlagartig einsetzenden starken Übelkeit auch deutliche Dreh- und Schaukelgefühle, die zu einer Coriolis-Illusion Anlaß geben können. So kommt es zum Beispiel beim Rechtstrudeln zu der Empfindung, daß das Flugzeug im Moment des Senkens des Kopfes seine gleichmäßige Drehbewegung um die x-Achse unterbrochen hat und nun mit dem Heck nach vorn rechts herüber kommt und mit dem Bug nach links hinten weg geht; es entsteht der Eindruck, daß sich die Maschine auf den Rücken legt. Diese illusionären Wahrnehmungen von Bewegungen des Flugzeuges können den Flugzeugführer sehr beeindrucken und verwirren und ihn zu folgenschweren Fehlhandlungen veranlassen.
Coriolis-Illusionen lassen sich jedoch leicht vermeiden, indem bei Flugmanövern, bei denen es zu Drehbewegungen des Flugzeuges kommt, der Kopf möglichst still gehalten wird.

IV. Komplexe Illusionen von visuellem und vestibulären Charakter

Diese Illusionen haben ihre Grundlage in dem engen funktionellen Zusammenwirken von Auge und Gleichgewichtsorgan, mit dessen Hilfe auch bei Körperbewegungen, linearen und Drehbewegungen, eine gute räumliche Orientierung durch Stabilisierung des Blickfeldes gesichert wird.

1. Die oculogyrale Illusion

Die oculogyrale Täuschung kann einen Flugzeugführer, der sich im Kurvenflug befindet und unter dem Einfluß von Winkelbeschleunigungen steht, über den optischen Analysator durch Punktwandern eines Lichtes und über den vestibularen Analysator durch Einfluß der resultierenden Grevitationsvertikale in der Annahme bestärken, in einer Gegenkurve abzudrehen.
Am besten läßt sich die Illusion am experimentellen Versuch auf der Zentrifuge schildern. Sitzt der Proband auf der Zentrifuge mit Blick in Rotationsrichtung, so wird er sich bei geschlossenen Augen in die subjektiv empfundene Vertikale beugen (ähnlich wie auf dem Karussell). Rotiert er zum Beispiel links und öffnet plötzlich die Augen, so sieht er die geschlossene Kabine, in der er sitzt, nach rechts abgekippt. Konnte er sich nicht in die Beugehaltung begeben, weil er fest angeschnallt war, so empfindet er sich in Rechtsneigung zur Vertikalen. Über die Mechanorezeptoren wird gleichzeitig gemeldet, daß der rechte Sitzteil tiefer steht. Das führt ihn zu dem Trugschluß, nach rechts wegzudrehen. Wird im dunklen Raum ein sich zwar mitdrehendes, aber feststehendes Licht beobachtet, so empfindet der Proband, daß das Licht sich rasch in Rotationsrichtung bewegt. Die Bewegung kommt allmählich zum Stillstand unter Beibehaltung der scheinbaren Dislokalisation. Bei einem plötzlichen Stop der Drehbeschleunigung wandert das Licht zur Gegenseite ab.
Beeinflußt wird die Stärke der Illusion vom im Raum herrschenden Helligkeitsgrad. Bei Sicht im hellen Raum müssen gröbere Drehbeschleunigungsreize einwirken. Im dunklen Raum genügen schon schwache Reize, die dem Flugzeugführer nicht bewußt zu werden brauchen. Die Gradhöhe der Abweichung korreliert mit dem Grad der Beschleunigung. Sie kann ca. 12 Grad betragen. Die oculogyrale Illusion tritt in Schräglagen von 10 - 60 Grad auf, wobei sie ab 40 Grad fast immer bemerkt wird. An sie erfolgt keine Gewöhnung.
Als Ursache werden die nystagmoiden ruckartigen Augenbewegungen angesehen, die bei Reizung der Bogengänge während der Rotation auftreten. Die langsame Phase löst die Empfindung des Punktwanderns des Lichtes

aus. Tritt keine weitere Beschleunigung auf, das heißt die Drehgeschwindigkeit bleibt konstant, so kommt das Bild zum Stillstand. Bei Bremswirkung wandert das Licht entsprechend dem postrotatorischen Nystagmus. Bei langanhaltendem Nystagmus entstehen größere Versetzungen und längere Scheinbewegungen.

Abbildung 12: Empfindungen der oculogyralen Illusion

2. Die oculogravische Illusion

Auch bei guter Sicht ist es möglich, daß illusionäre Wahrnehmungen eines Steig- oder Sinkfluges auftreten. Hierbei handelt es sich um die oculogravische Illusion des Steigfluges bei Erhöhung und um die des Sinkfluges bei Verringerung der Triebwerksleistung. Diese Illusion hat ihre Grundlage in dem engen funktionellen Zusammenwirken von Auge und Vestibularapparat unter Erdbedingungen. Wird die Otolithenmembran nämlich durch Zurückbeugen des Kopfes nach hinten verlagert, dann neigen sich im Gesichtsfeld befindliche Objekte scheinbar nach hinten, umgekehrt scheinen die Objekte nach vorn zu kippen, wenn der Kopf vorgeneigt wird. Das heißt, wird im Horizontalflug durch Steigerung der Triebwerksleistung eine entgegengesetzt der Flugrichtung gerichtete Kraft erzeugt, die die Otolithenmembran nach hinten verlagert, dann scheint sich der Horizont zu senken, was als Steigflug imponiert; umgekehrt scheint er sich zu heben, was als Sinkflug erscheint, wenn die Otolithenmembran bei Drosselung der Triebwerksleistung nach vorn verlagert wird. Noch vor Jahren hielt man die linearen Beschleunigungen für nicht besonders bedeutungsvoll für den Menschen. Das hat sich aber mit Zunahme der Geschwindigkeiten bis hin zur Raumfahrt erheblich verändert. Die linearen Beschleunigungen wirken in Richtung Bauch - Rücken oder Rücken - Bauch ein. Am besten lassen sich die Verhältnisse wieder am Beispiel der Bewegung auf der Zentrifuge erklären. Der Proband sitzt jetzt mit dem Gesicht zum Rotationszentrum. Bei Rotation mit geschlossenen Augen stellt der Proband seine Körperlängsachse durch Beugen nach vorn auf die subjektive Vertikale - die Resultante aus Fliehkraft und Schwerkraft - ein. Öffnet er die Augen, so sieht er, daß die Kabine nach hinten weggekippt ist. Konnte er sich nicht nach vorn beugen, weil er angeschnallt war, so liegt er jetzt zu seiner subjektiven Vertikalen nach hinten. Gleichzeitig empfängt er über die Mechanorezptoren das Signal, daß der Sitz nach hinten unten gedrückt worden ist. Auf das Flugzeug übertragen bekommt der Flugzeugführer eine Illusion des Steigfluges. Bei sehr hohen Geschwindigkeiten können hohe Beschleunigungskräfte einwirken (bis zu 2 g in wenigen Sekunden), die eine Steigflugempfindung mit Rückwärtsdrehen bis zu

180 Grad erzeugen können.
Sitzt der Proband mit dem Rücken zum Rotationszentrum, lehnt er sich jetzt entsprechend der subjektiven Vertikalen bei geschlossenen Augen zurück. Beim Öffnen der Augen kippt der Raum nach vorn ab. Ist er am Sitz angeschnallt, so glaubt er in Vorwärtsneigung zu liegen. Gleichzeitig hebt es ihn aus dem Sitz. Der Flugzeugführer unterliegt in dieser Situation einer Illusion des Gleitfluges. Wird ein Lichtpunkt im dunklen Raum fixiert, so wandert im ersteren Falle das Licht nach unten und verstärkt die Steigflugempfindung und im zweiten Falle durch Abweichen nach oben die Sturzflugempfindung. Es besteht eine direkte Beziehung zwischen Beschleunigungskraft und Zielverlagerung.

Abbildung 13: Empfindungen der oculogravischen Illusion

Diese Hinweise lassen erkennen, daß die genannten Illusionen, wenn sie nicht als solche erkannt werden, zu Unfällen führen können. Eine Katastrophe in Westeuropa in den sechziger Jahren wurde in diesem Sinne ausgewertet. Ein modernes Verkehrsflugzeug war kurz nach dem Start plötzlich nach vorn abgekippt und in den Boden gerast. Voraussetzung für eine oculogravische Illusion des Piloten mußte es gewesen sein, daß er keine Bodensicht hatte und sich auch nicht über die Instrumente orientieren konnte. Da zur Zeit des Startes starke Gewitterböen herrschten, wurde angenommen, daß die Instrumente nicht sicher zu erkennen waren. Man stellte fest, daß die Eigenschwingungen des Flugzeugkörpers eine Frequenz von ungefähr 4 - 5 Schwingungen in der Sekunde haben. Die Blickfrequenzen liegen höher, so daß es beim "Durcheinanderschütteln" der Maschine zu vorübergehendem Verschwimmen der Instrumente vor den Augen kommen konnte. Der Flugzeugführer konnte in diesem Augenblick der oculogravischen Illusion erliegen und die Maschine nach unten drücken. Nach Wiedererkennen der Instrumente war der Steuerfehler aus Zeitnot nicht mehr zu korrigieren. Andererseits kann bei der Landung durch starkes Abbremsen oder zu starken Geschwindigkeitsverlust eine Sturzflugempfindung ausgelöst werden. Durch plötzliches Hochreißen als Gegenreaktion kann die Maschine überzogen werden und senkrecht niedergehen ("Durchsacken").

V. Häufigkeit und Dauer von Flugillusionen

1. Häufigkeit von Flugillusionen

Bei Erhebungen über Illusionen beim Fliegen bei den Flugzeugführern der Luftstreitkräfte, der Interflug, der GST, des Agrarfluges und bei Hubschrauberführern konnte festgestellt werden, daß allen Befragten Illusionen aus eigenem Erleben bekannt sind. Übereinstimmend wird als bekanntestes Illusionserlebnis die Schräglageillusion von 94 % der Jagd- und Transportflieger angegeben. Es folgen die Illusion der Gegendrehung nach Ausleiten von Kurven mit 69 % bei Jagdfliegern und 64 % bei Transportfliegern und die Nichtwahrnehmung von Kurvenflügen (54 % bzw. 42 %).
Während erwartungsgemäß beim Instrumentenflug nur vestibulär ausgelöste Illusionsphänomene auftreten können, sind beim Flug nach Sichtorientierung, vor allem auf Transportflugzeugen, visuelle Illusionen gut bekannt. So gaben 70 % der Transportflieger die Verkennung von Lichtpunktobjekten und 60 % die autokinetische Illusion des wandernden Lichtpunktes (aber nur 34 % der Jagdflieger) an. Die Verkennung der Fluglage eines anderen Flugzeuges oder Ziels bei Annäherung oder im Verbandsflug kannten dagegen 57 % der Jagdflieger und nur 34 % der Transportflieger. Die Illusion der Sternumzingelung hatten schon 40 % der erfahrenen Jagdflieger erlebt.
Bei 2 % der Jagdflieger und 6 % der Hubschrauberführer war es durch Illusionserlebnisse bereits zu Flugvorkommnissen gekommen, was die Bedeutung der Aufklärung über Illusionen, ihre Entstehung, Erscheinung und Verhütung nachdrücklich unterstreicht. Zu einem vorübergehenden Verlust der räumlichen Orientierung kam es bei 10 % bzw. 15 % der Flugzeugführer. Bei einer Langzeitstudie über ein Ausbildungsjahr hinweg gaben von 145 Jagdflugzeugführern 64 % Flugillusionen im letzten Jahr an. 93 Flugzeugführer berichteten über 483 Illusionserlebnisse. Es handelte sich in 74 % um Schräglageillusionen und nur in 10 % um visuelle Illusionen. Interessant war jedoch die Tatsache, daß jede hier beschriebene Illusion aber mindestens einmal vorkam. Es ist deshalb die Kenntnis aller Illusionsarten von Bedeutung, um sich richtig auf sie einstellen zu können.

2. Dauer von Flugillusionen

Die Dauer von Illusionserscheinungen beträgt nach unseren Erhebungen aus den sechziger Jahren bei Jagdfliegern durchschnittlich bis 10 Sekunden. Von 6 % der Befragten wurden Werte über 10 Sekunden angegeben.

Die 20-Sekunden-Grenze wird kaum überschritten. Längere Maximalwerte als 20 Sekunden fanden sich bei ein Fünftel der Flugschüler, eine Feststellung, die auf die Bedeutung des Ausbildungsstandes und der Erfahrung im Instrumentenflug hinweist. Bei Transportfliegern lag die durchschnittliche Dauer im Bereich von fünf Sekunden. Flugillusionen, insbesondere solche der Schräglage, können aber auch unter Umständen bis zu einigen Minuten anhalten.

VI. Maßnahmen zur Verhütung von Illusionen

1. Auswahl

Der Kampf gegen Flugillusionen beginnt bei der Auswahl der Bewerber für die Flugschulung. Jugendliche mit Anomalien und Funktionsstörungen des Seh- oder Gleichgewichtsorgans sind zum Fliegen nicht geeignet. Besondere Beachtung erfordert außerdem die emotionale Stabilität des Nervensystems, da es sich gezeigt hat, daß Illusionen einerseits objektiv bei allen Flugzeugführern aus den psychophysiologischen Gegebenheiten der Bewegung im dreidimensionalen Raum auftreten können und andererseits das Überwinden divergierender Sinneswahrnehmungen jedem Flugzeugführer unter normalen Flugbedingungen durch die integrative Tätigkeit seines Gehirns beim Aufbau einer neuen Raumorientierung beim Instrumentenflug möglich ist. Wenn Flugillusionen Ausdruck einer fliegerischen und letztlich psychischen Unsicherheit sind, dann ist die psychologische Auswahl psychisch stabiler und gut ausbildbarer Bewerber für die Flugzeugführerlaufbahn eine weitere Vorbedingung für ein sicheres Fliegen.

2. Prophylaxe

Ausgangspunkt und Grundlage der Prophylaxe von Flugillusionen ist das Wissen, daß Flugillusionen bei jedem gesunden Menschen auftreten können, wenn bestimmte Flugbedingungen vorliegen, weil unsere Sinnesorgane optimal nur für das Leben auf der festen Erde ausgerichtet sind, und daß es begünstigende Faktoren für das Auftreten von Flugillusionen gibt, die an dem neuen funktionellen System der an der räumlichen Orientierung beim Fliegen beteiligten Analysatoren unter Führung des optischen Analysators ansetzen und diese zu stören vermögen.
Daraus ergeben sich eine Reihe von Methoden der Vorbeugung und des Kampfes gegen Flugillusionen. Die wichtigste Methode ist das regelmäßige Instrumentenflugtraining. Dabei werden besonders trainiert

- eine richtige Aufmerksamkeitsverteilung in Abhängigkeit vom Flugregime und den Flugbedingungen;
- die Fähigkeit, sich aus den Geräteanzeigen schnell und exakt eine richtige Vorstellung von der räumlichen Lage des Flugzeuges zu bilden;
- die physische und psychische Widerstandsfähigkeit gegenüber der Einwirkung ungünstiger Flugfaktoren;
- das neue funktionelle System der Analysatoren mit der dafür spezi-

fischen kortikalen Neurodynamik der Wechselwirkung der Sinnesorgane beim Fliegen.

Im Endergebnis wird die führende Rolle des Sehanalysators der Orientierung beim Fliegen gefestigt und dadurch die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Illusionen verringert. Es erhöht sich das Vertrauen in die eigene Leistungsfähigkeit. Was hier im Komplex beim praktischen Fliegen trainiert wird, läßt sich auch in Teilelementen im Bodentraining festigen und im Sinne der Vermeidung eines Fertigkeitsverlustes erhalten. Das ist besonders wichtig bei unumgänglichen längeren Flugpausen. Dazu kommen noch eine Reihe wichtiger Verhaltensregeln einer vernünftigen und gesunden Lebensführung allgemein.
Im einzelnen gehören dazu:

- ausreichender Schlaf,
- Vermeidung von Alkohol bereits am Vorflugtage,
- stets ausreichende Bewegung, besonders sportliche Betätigung,
- Vermeidung von übermäßigem Rauchen,
- theoretisches Bekanntmachen mit den Illusionen und den Methoden des Kampfes gegen sie.

Dem Sport, speziell dem Fliegertrainingssport, kommt eine besondere Bedeutung zu. Er führt zu einer Erhöhung der Widerstandsfähigkeit insgesamt.
Auf einem Vollflugsimulator kann insbesondere die richtige Aufmerksamkeitsverteilung geübt werden, die Schnelligkeit und die Exaktheit des Ablesens der Instrumente. Wichtigster Grundsatz ist, den Anzeigen der Instrumente zu vertrauen und nicht den eigenen Empfindungen über die Lage und Bewegung des Flugzeuges im Raum.
Ist es während des Fliegens zum Auftreten einer Illusion gekommen, und wird diese bemerkt, so kann sich der Flugzeugführer mittels einer Reihe von Maßnahmen von ihr befreien und seine Sicherheit wiedererlangen. Folgende Methoden werden empfohlen:

- Konzentration auf den künstlichen Horizont,
- Lage- bzw. Sitzveränderung des Körpers,
- Energische Kopfbewegungen (dabei ist aber die Möglichkeit des Auftretens von Coriolis-Illusionen zu beachten),
- Lautreize wie lautes Singen, Sprechen,
- Anspannung der gesamten Körpermuskulatur,
- Unterhaltung über Sprechfunk,
- Intensive Körperreize wie Kneifen o.ä.,
- Verstärkung der Kabinenbeleuchtung.

Diese Methoden müssen jedem Flugzeugführer bekannt sein, und es empfiehlt sich, sie bis zum Eintritt eines Erfolges nacheinander anzuwenden.

Hier soll auch noch einmal auf die Bedeutung einer vestibulären Reizung beim Fliegen und ihrer Beziehung zum Auftreten von Illusionen hingewiesen werden. Beim Training in verhängter Kabine kommt es trotz oftmals beträchtlicher Winkel- und Linearbeschleunigungen nicht zum Auftreten einer Illusion. Die Erklärung wird darin gesehen, daß sich unter diesen Bedingungen das spezifische Gewicht der Blickkonzentration auf den künstlichen Horizont erhöht und Ablenkungsmöglichkeiten eingeschränkt sind. Ein Hinweis auf die Wichtigkeit, sich voll auf die Instrumente zu konzentrieren und zu verlassen. Dadurch wird die These bestätigt, daß zur Entstehung von vestibulären Flugillusionen eine Vestibularisreizung allein nicht unbedingt führen muß, sondern daß noch begünstigende Faktoren hinzukommen müssen, die zur Störung des Zusammenspiels der Analysatoren der räumlichen Orientierung beim Fliegen führen. Auf die Ausschaltung gerade dieser Faktoren sind die Maßnahmen der Illusionsprophylaxe besonders gerichtet.

Abschließend sei noch auf den Zusammenhang von Ermüdungszuständen und Illusionen hingewiesen. Es ist zu sichern, daß nicht im übermüdeten Zustand der Flugdienst angetreten wird. Der Ablauf des Fluges und die Arbeitsorganisation an Flugtagen muß garantieren, daß keine flugsicherheitsgefährdende Ermüdungszustände auftreten.
Da es neben der akuten Ermüdung im Verlaufe eines Tages auch eine über viele Tage und Wochen anhaltende "chronische" Ermüdung gibt, die immer nervösen (neurotischen) Ursprungs ist, erfordert solch ein Zustand zwischen Gesundheit und Krankheit eine Vorstellung beim Arzt und in der Regel eine psychotherapeutische stationäre Behandlung im Institut für Luftfahrtmedizin. Die hierbei angewendeten Methoden der Behandlung mit psychisch wirksamen Mitteln (autogenes Training, formelhafte Vorsatzbildung, ideomotorisches Training durch "Vorstellungshandeln", konzentrative Entspannung und regulative Musiktherapie) sind über ihren therapeutischen Wert hinaus auch vorbeugend wirksam. Ihre Weiterentwicklung und wirksame Einführung in die fliegerische Praxis wird den Beginn einer neuen Etappe der Psychoprophylaxe von Illusionen beim Fliegen darstellen.

Anlage

Abbildungen

Abb. 1 Wahrnehmung der Rollbahn beim Anflug bei normalem, zu großem und zu geringem Gleitwinkel

Abb. 2 Falsche Größenbeurteilung bei gleichgroß bleibendem Objekt gegen perspektivisch verkürzten (erscheinungsmäßig größenkonstanten) Hintergrund gesehen

Abb. 3 Sehwinkel zum Erdhorizont aus geringer und aus großer Höhe

Abb. 4 Doppelbrechung des Lichtstrahles bei senkrechten Sonnenstand und Dunstschicht über dem Erdboden

Abb. 5 Die Bewegungsachsen des Flugzeuges

Abb. 6 Steigflugempfindung beim Beschleunigen im Horizontalflug und Sinkflugempfindung beim Abbremsen

Abb. 7/1 und 7/2 Unkoordinierte Steuerführung im Kurvenflug, Außenschieben

Abb. 8 Unkoordinierte Steuerführung im Kurvenflug, Innenschieben

Abb. 9 Trudelfigur. Die Aufsicht von oben weist auf die heftige Rotation bei diesem Manöver

Abb. 10 Die Trudelfigur: Sinken, Ausleiten und Wiedereinleiten mit Übergang von Linkstrudeln in Rechtstrudeln

Abb. 11 Wachsende g-Kraft bei zu steiler Spirale

Abb. 12 Empfindungen der oculogyralen Illusion

Abb. 13 Empfindungen der oculogravischen Illusion

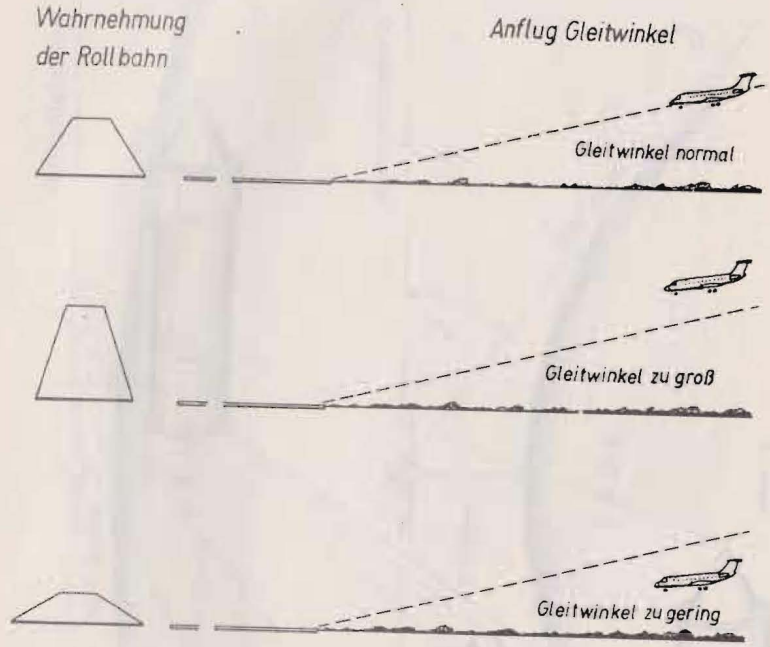

Abb. 1

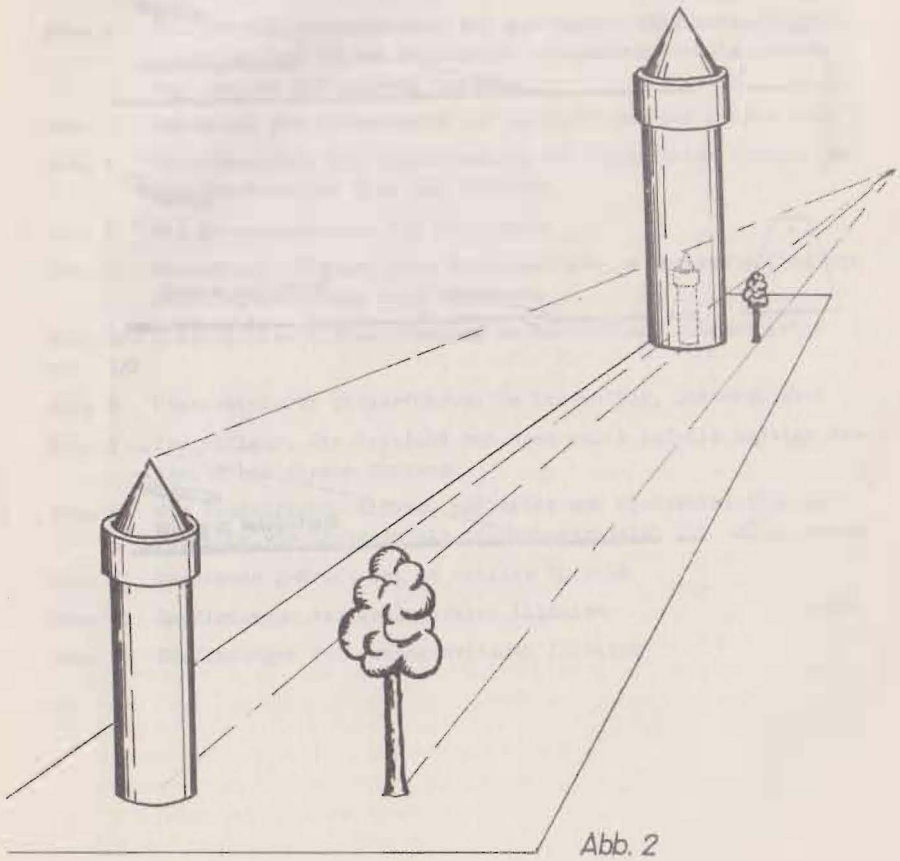

Abb. 2

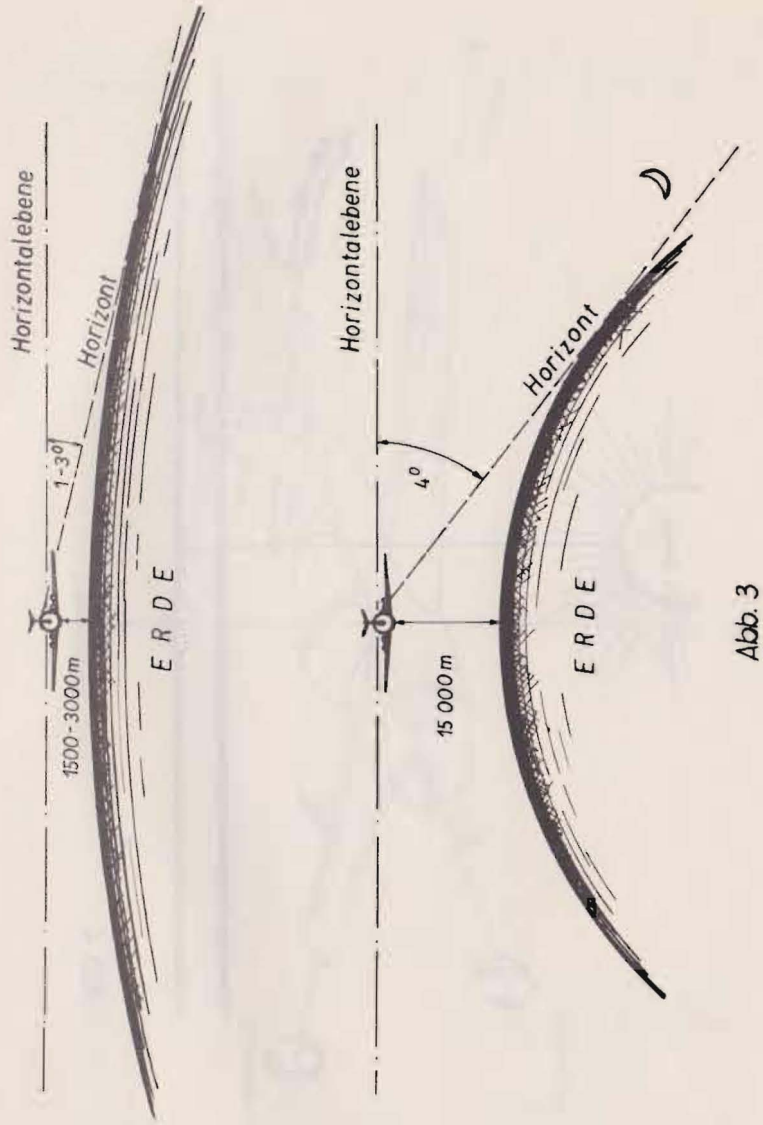
Horizontalebene
Horizont
1-3°
1500-3000m
E R D E
Horizontalebene
4°
Horizont
15 000 m
E R D E

Abb. 3

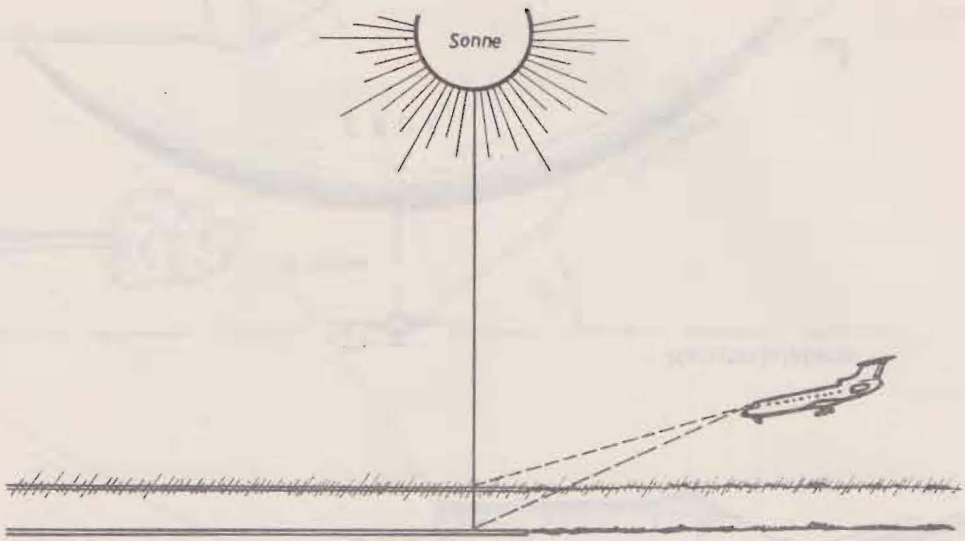
Sonne

Abb. 4

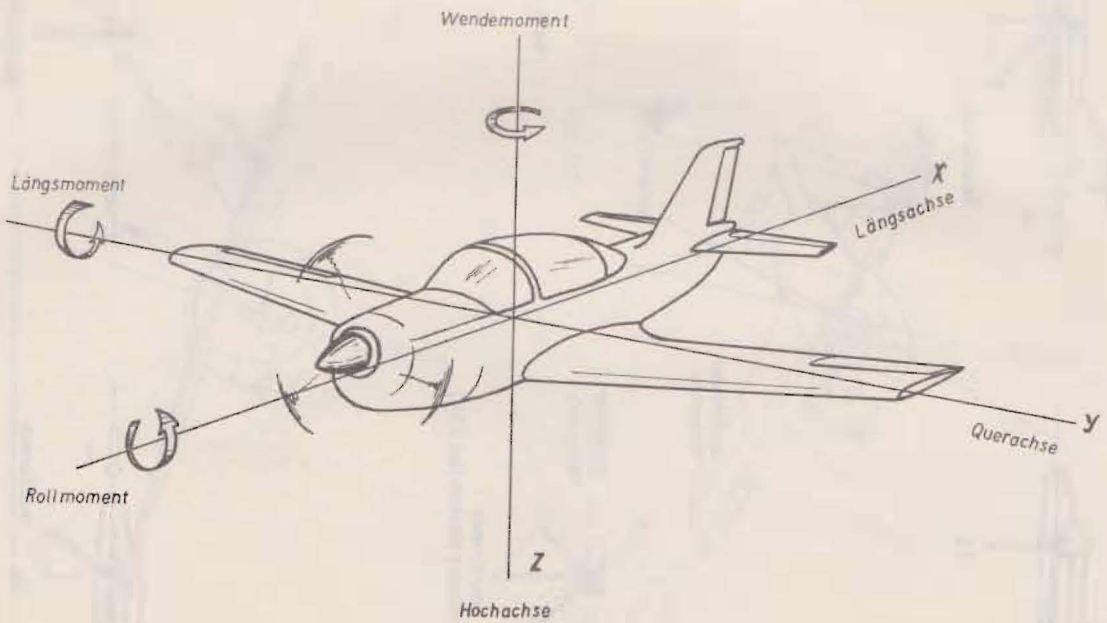
Wendemoment
Längsmoment
x
Längsachse
y
Querachse
Rollmoment
z
Hochachse

Abb. 5

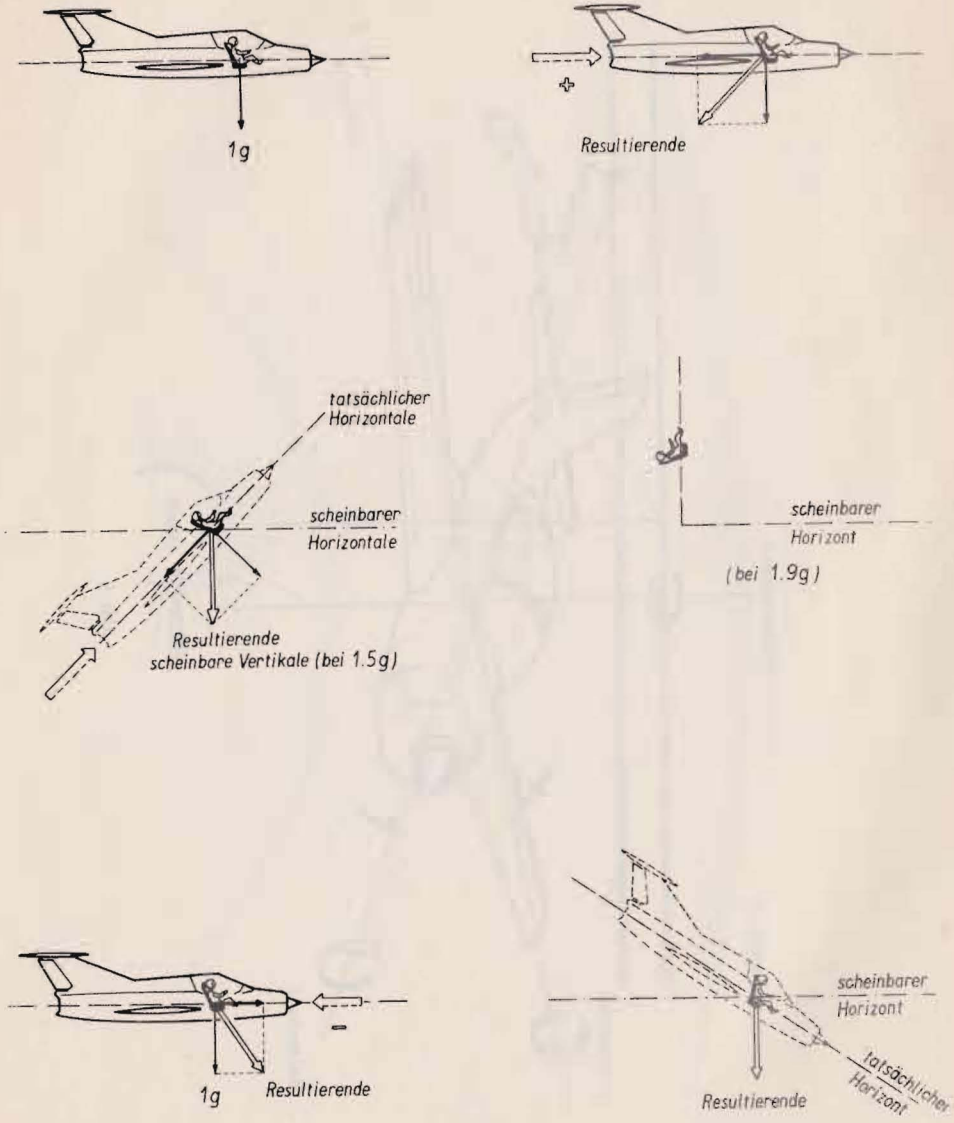

Abb. 6

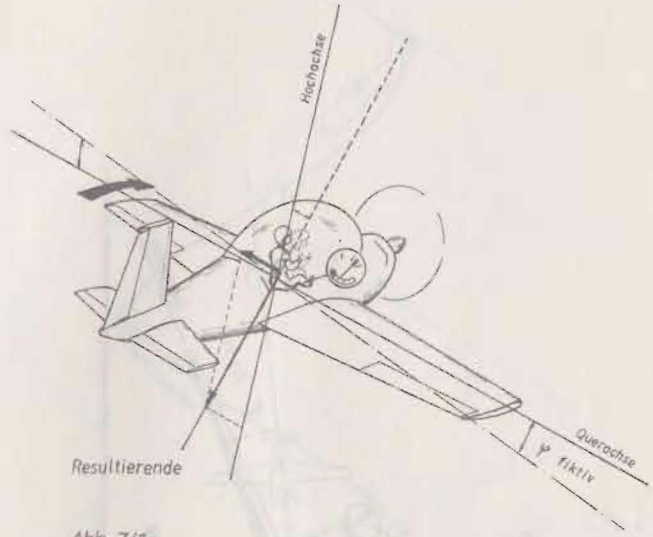

Abb. 7/1

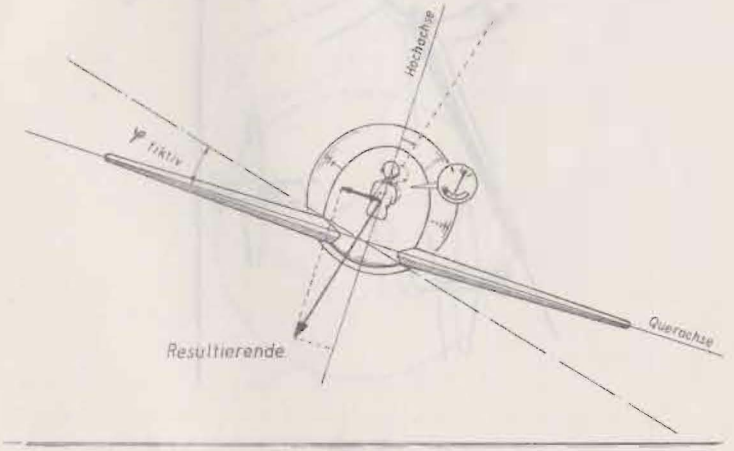

Abb. 7/2

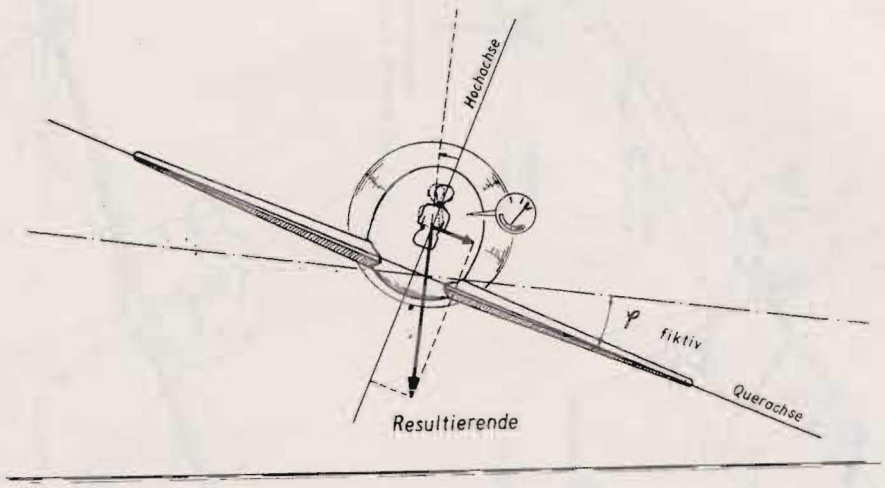

Abb. 8

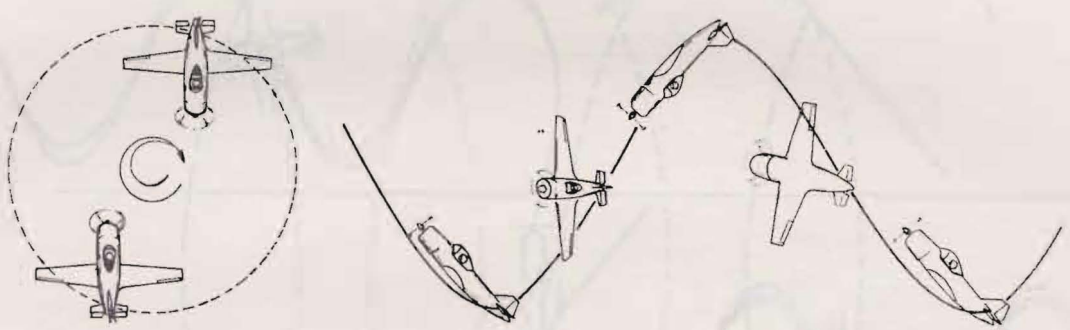

Abb. 9

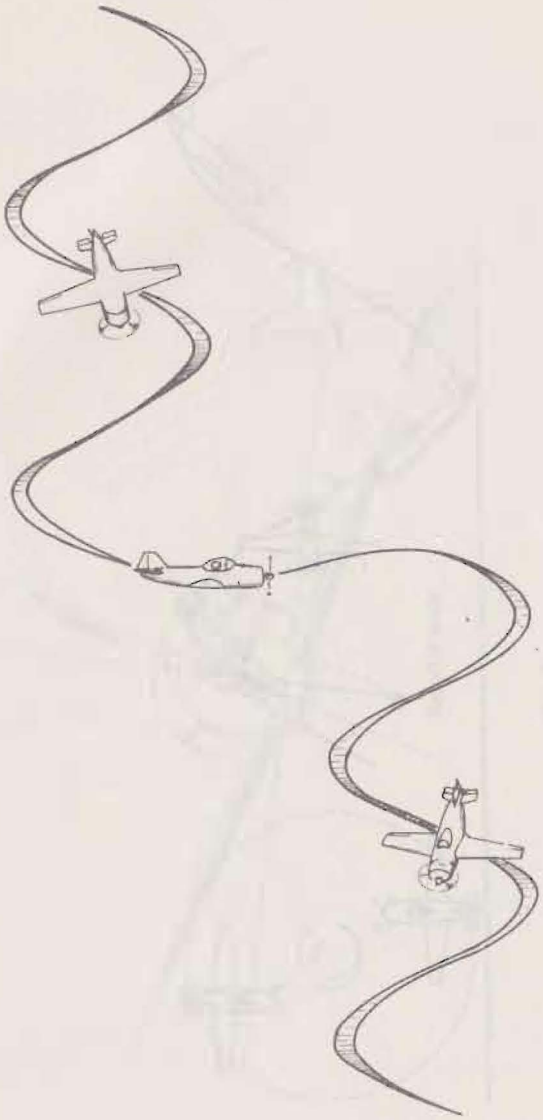

Abb. 10

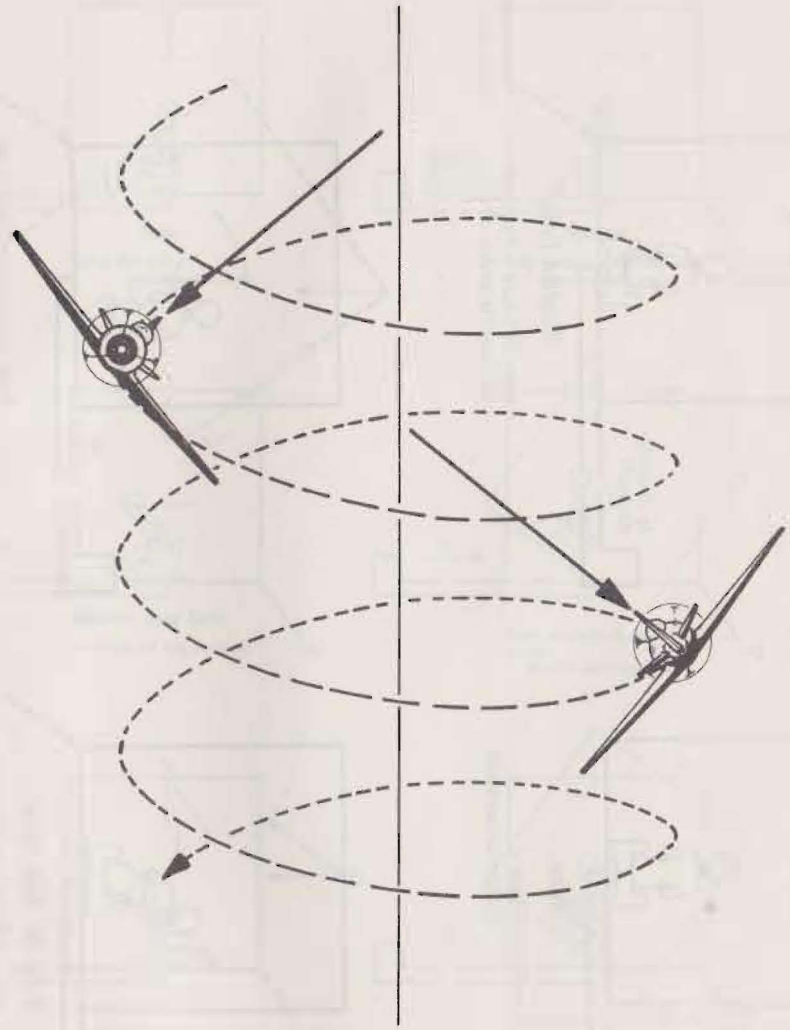

Abb. 11

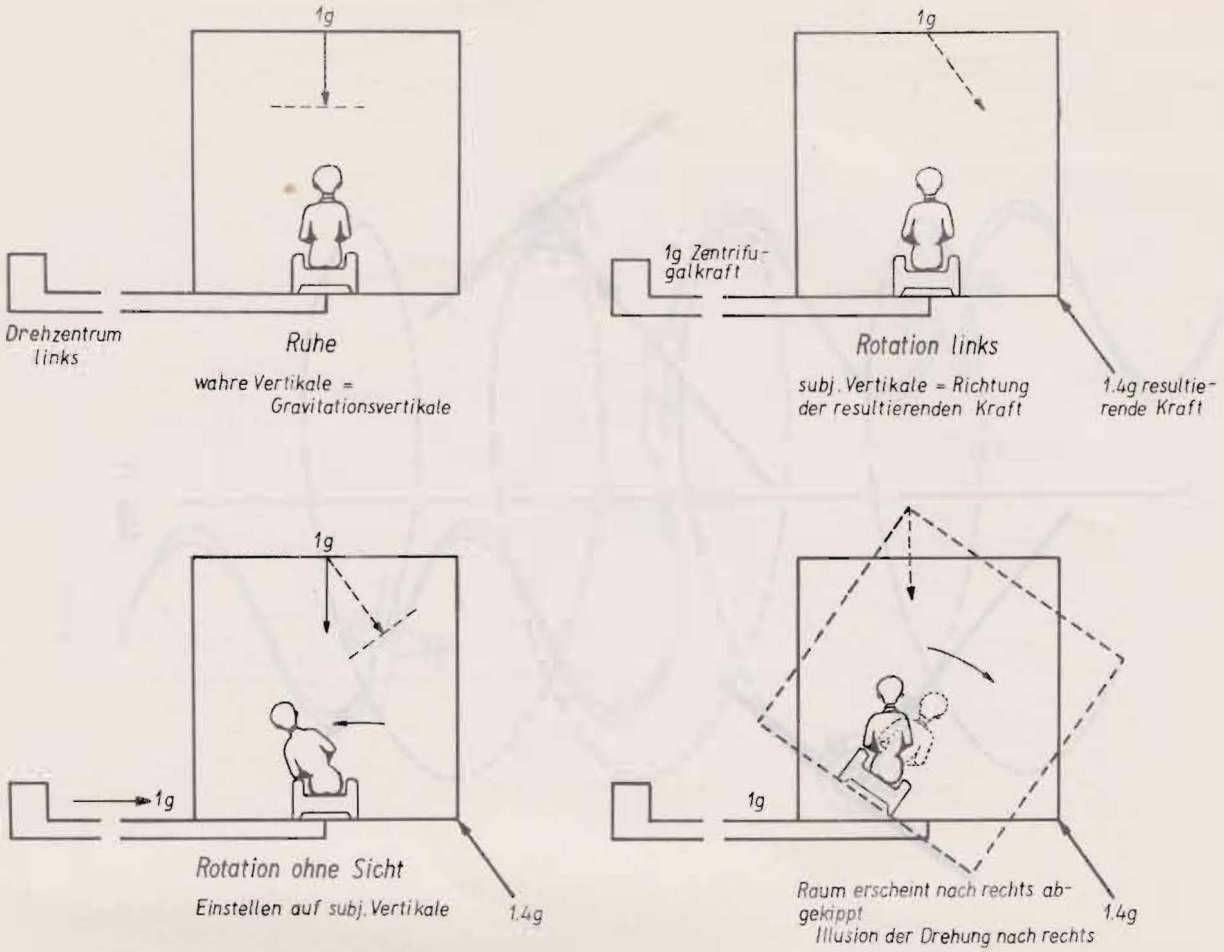
1g
Drehzentrum links
Ruhe
wahre Vertikale = Gravitationsvertikale
1g Zentrifugalkraft
Rotation links
subj. Vertikale = Richtung der resultierenden Kraft
1.4g resultierende Kraft
Rotation ohne Sicht
Einstellen auf subj. Vertikale
1.4g
Raum erscheint nach rechts abgekippt
Illusion der Drehung nach rechts

Abb. 12

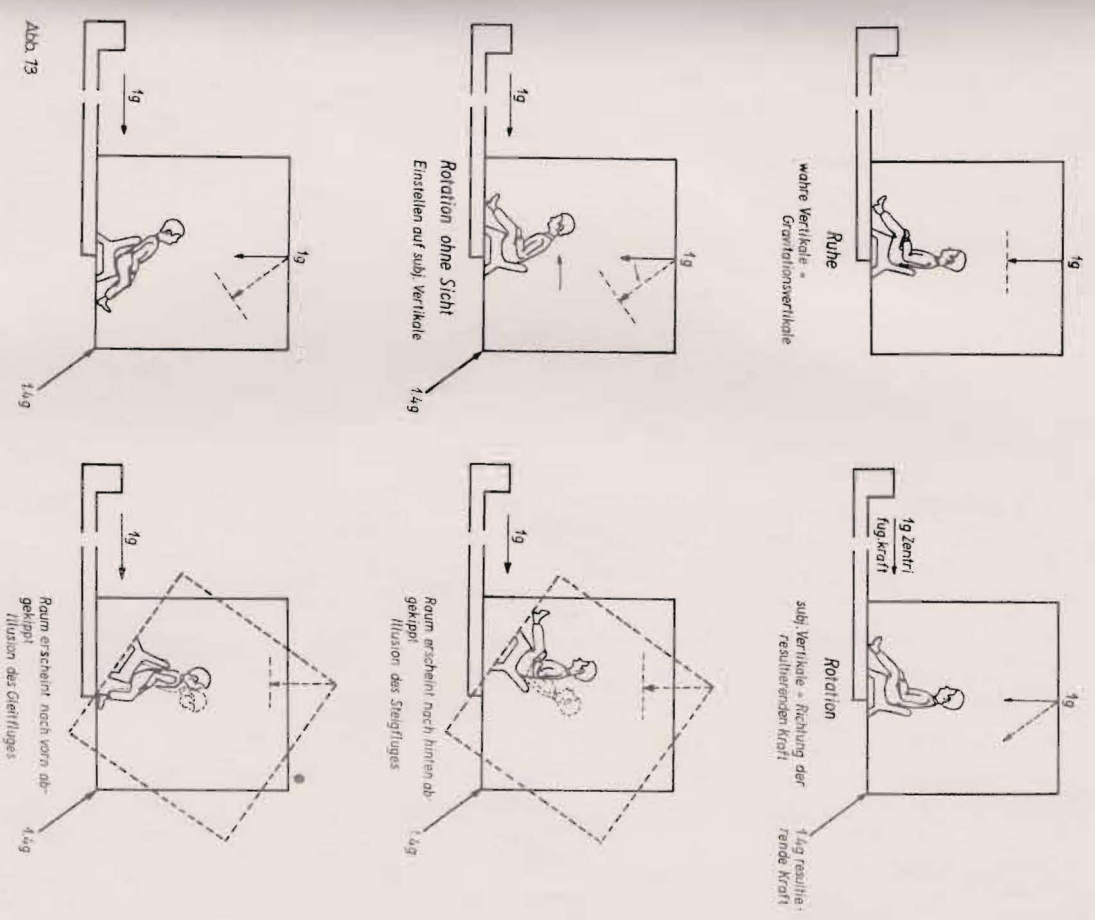
Abb. 13
1g
1.4g
Ruhe
wahre Vertikale = Gravitationsvertikale
Rotation ohne Sicht
Einstellen auf subj. Vertikale
Raum erscheint nach vorn abgekippt
Illusion des Gleitfluges
Raum erscheint nach hinten abgekippt
Illusion des Steigfluges
1g Zentrifugalkraft
Rotation
subj. Vertikale = Richtung der resultierenden Kraft
1.4g resultierende Kraft