

Veröffentlichungen der DFVLR

DFVLR-Forschungsberichte

Wissenschaftliche Erstveröffentlichungen aus der Forschungs- und Entwicklungsarbeit der DFVLR.

DFVLR-Mitteilungen

Beiträge über Versuchsmethoden und -anlagen, Rechenprogramme, Vortragsveranstaltungen, Literaturübersichten zu bestimmten Themenkreisen.

Jahresverzeichnis

der DFVLR-Forschungsberichte und DFVLR-Mitteilungen.
(deutsch und englisch)

Zeitschrift für Flugwissenschaften und Weltraumforschung (ZFW)

Wissenschaftliche Zeitschrift mit Beiträgen aus der Luft- und Raumfahrtforschung und -technologie.

DFVLR-Nachrichten

Zeitschrift mit Beiträgen über aktuelle Forschungsarbeiten und mit Hinweisen auf DFVLR-Veröffentlichungen, DFVLR-Erfindungen und -Patente, Projektträgerberichte und Veranstaltungen.

Wissenschaftliche Berichte der Bereiche

Übersicht über die wesentlichsten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, Struktur, Aufgabenspektrum der Bereiche sowie Ausblick auf die zukünftige Entwicklung.
(deutsch und englisch)

Erfindungen und Patente

Liste mit erteilten bzw. angemeldeten Patenten.

DFVLR

Deutsche Forschungs- und
Versuchsanstalt
für Luft- und Raumfahrt



Forschungsbericht

UB/TIB Hannover

RN 437
(87-38)

Zur psychophysischen Belastung
von Segelflugzeugführern
während längerer Flüge

Wolfgang Koll

DFVLR
Institut für Flugmedizin
Köln

DFVLR-FB 87-38

(Als Manuskript gedruckt)

Herausgegeben von
der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V. (DFVLR),
Mitglied der Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen (AGF).

Zu beziehen durch
Wissenschaftliches Berichtswesen der DFVLR
Postfach 90 60 58, 5000 Köln 90.

ISSN 0171-1342

DFVLR

Deutsche Forschungs- und
Versuchsanstalt
für Luft- und Raumfahrt



Forschungsbericht

Zur psychophysischen Belastung
von Segelflugzeugführern
während längerer Flüge

Wolfgang Koll

1.1.4 mok

DFVLR
Institut für Flugmedizin
Köln

109 Seiten
15 Bilder
4 Tabellen
77 Literaturstellen

DFVLR-FB 87-38



Manuskript eingereicht am 15. Oktober 1987

Zur psychophysischen Belastung von Segelflugzeugführern
während längerer Flüge *

Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt
Forschungsbereich Flugmechanik/Flugführung
Institut für Flugmedizin
Linder Höhe, D-5000 Köln 90

Köln, im Oktober 1987

Institutsleiter:
Prof. Dr.med. K.E. KLEIN

Verfasser:
W. KOLL

* Diese Arbeit erscheint gleichzeitig als von der Hohen
Medizinischen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-
Universität zu Bonn genehmigte Inauguraldissertation.

Segelflugzeugführer, Langzeitflüge, psychophysische Belastung

Zur psychophysischen Belastung von Segelflugzeugführern während längerer Flüge

Übersicht

Zur Abschätzung der fliegerischen Belastung während längerer Flüge wurden von 9 Segelflugpiloten insgesamt 16 Flüge mit einer Flugdauer bis um 6 Stunden, überwiegend Streckensegelflüge, unternommen. Neben einer kontinuierlichen Aufzeichnung der Herzfrequenz wurden im Rahmen des Flugprotokolls die Parameter Höhe, Cockpittertemperatur und g-Belastung registriert. Zu mehreren Zeitpunkten wurden Self-rating-Tests zur Ermüdung und Leistungstests durchgeführt.

Anhaltspunkte für eine kontinuierliche oder markante Änderung des Befindens im Sinne einer Ermüdung oder für eine Änderung der Leistungsfähigkeit finden sich bei den von uns erzielten Flugdauern nicht. Die kardiovaskuläre Belastung erscheint geringer als bisher vermutet, wenn man von besonderen Risikosituationen absieht.

Glider Pilots, Long-Duration Flights, Psychophysical Load

Psychophysical Load of Glider Pilots on Long-Duration Flights

Summary

In order to estimate the pilot's load on long duration flights, nine glider pilots made sixteen flights of until about 6 hours duration, mostly long-distance flights. There was continuous recording of the heart rate and flight protocol including altitude cockpit temperature and g-load. Tests to assess fatigue (self-rating) and performance were carried out at different times. In our flights there was no indication to continuous or sudden fatigue nor to any change of the performance level. Particularly risky situations excluded, the load of the cardiovascular system appears to be lower than previously assumed.

Gliederung

Seite

1.	Einleitung	7
2.	Literaturbesprechung	9
2.1.	Besonderheiten des Segelfluges in der Luftfahrt	9
2.1.1.	Technische Entwicklung im Segelflugzeugbau	9
2.1.2.	Zur fliegerischen Technik	10
2.2.	Bedeutung des Segelflugsportes in der allgemeinen Luftfahrt	15
2.2.1.	Umfang der fliegerischen Tätigkeit	15
2.2.2.	Segelflugunfälle, Statistik und Ursachen	15
2.2.3.	Medizinische Voraussetzungen für die Feststellung der Fliegertauglichkeit	18
2.3.	Psychophysische Belastung des Segelfliegers	19
2.3.1.	Physische Belastungsmomente	19
2.3.2.	Psychische Belastungskomponenten	23
2.3.3.	Bisherige Untersuchungen zur Feststellung der psychophysischen Belastung	25

	<u>Seite</u>
2.3.4. Vergleich mit anderen Formen fliegerischer Betätigung	27
3. Methodik	27
3.1. Probandenkollektiv	28
3.2. Flugzeug und apparative Ausstattung	29
3.3. Datenerfassung und Datenauswertung	30
3.4. Untersuchungsablauf	33
4. Ergebnisse	35
4.1. Einzelfallbetrachtung der Flüge	36
4.2. Herzfrequenz	72
4.3. Fragebögen und Leistungstests	78
4.4. Flugprotokoll (Beispiele)	81
5. Diskussion	84
6. Zusammenfassung	89
7. Schrifttum	91
8. Anhang	100

1. Einleitung

In der Bundesrepublik Deutschland gibt es zur Zeit fast 40.000 Segelflieger, die als Teilnehmer am öffentlichen Luftverkehr jedes Jahr mehrere Millionen Kilometer im Überlandflug zurücklegen. Dabei sind Flüge von 4 bis zu 8 Stunden Dauer keine Seltenheit. Schon nach Flügen von wesentlich kürzerer Dauer berichten viele Piloten von Ermüdungserscheinungen.

Nach einer Statistik des Luftfahrtbundesamtes in Braunschweig ereigneten sich in den Jahren 1973 bis 1982 allein im Luftraum der Bundesrepublik weit über 1.000 Unfälle mit Segelflugzeugen, davon über 80 mit tödlichem Ausgang.

Der Streckensegelflug wird erst seit wenigen Jahren von einer größeren Anzahl von Segelfliegern betrieben und gewinnt ständig an Bedeutung. Er stellt an den Piloten hohe Anforderungen. Im Gegensatz zu fast allen anderen Formen fliegerischer Betätigung gibt es auf diesem Gebiet nur wenige flugmedizinische Untersuchungen, die sich zudem fast ausschließlich mit Flügen von wenigen Minuten Dauer in unmittelbarer Nähe eines Flugplatzes und auch hier überwiegend mit unerfahrenen Piloten oder Anfängern befassen.

Ziel dieser im Rahmen eines größeren Projektes durchgeführten Arbeit ist es nun, in der realen Situation die Auswirkungen von längeren bzw. Überlandsegelflügen auf Organismus und Psyche zu erfassen. So werden sowohl die verschiedenen Belastungsmomente, denen der Pilot auf solchen Flügen unterliegt, als auch die Reaktion des Herz-Kreislauf-Systems sowie das Befinden untersucht.

Die vorliegende Untersuchung wurde vorwiegend bei längeren Überlandsegelflügen erfahrener Piloten mit einem modernen Hochleistungssegelflugzeug durchgeführt.

2. Literaturbesprechung

2.1. Besonderheiten des Segelfluges in der Luftfahrt

2.1.1. Technische Entwicklungen im Segelflugzeugbau

In den letzten 15 - 20 Jahren haben sich auf dem Gebiet des Segelflugzeugbaus durch die Einführung der modernen Kunststoffbauweise große Veränderungen ergeben. Die Leistungen des Fluggerätes wurden enorm verbessert [25]. Die Herstellung von Flugzeugen mit Gleitzahlen von über 1:40, also der Möglichkeit, aus 1.000 m Höhe in ruhiger Luft einen Geradeaus-Gleitflug von mehr als 40 km Länge durchzuführen, schuf die Grundlage für viele Segelsportflieger, über große Entfernungen Streckenflüge und Dreiecksflüge auszuführen. So werden heute Dreiecksflüge über eine Distanz von 500 km und mehr auch schon von nur durchschnittlich geeigneten Piloten bewältigt, wobei Flugzeiten von zum Teil 10 Stunden auftreten. Bei der Mehrzahl der Flugzeuge wurde im Zuge der technischen Entwicklung die Höchst- und Reisegeschwindigkeit erhöht - mit dem Nachteil einer meist auch höheren Aufsetzgeschwindigkeit bei der Landung. Dies führt dazu, daß sich die Auswahl eines geeigneten Landefeldes außerhalb eines Flugplatzes wegen der längeren Ausrollstrecke schwieriger gestaltet.

Bedingt durch die aerodynamische Optimierung der Rumpfform nimmt der Pilot heute im Gegensatz zu früher eine mehr liegende als sitzende Position ein.

Insgesamt führte die technische Entwicklung also zu einer starken Erweiterung der fliegerischen Möglichkeiten, wie oben kurz angesprochen, damit aber auch zu einer Erhöhung der fliegerischen Anforderungen.

2.1.2. Zur fliegerischen Technik

Zur Startphase:

Im Unterschied zum Motorflugzeug ist ein Segelflugzeug nicht eigenstartfähig. Deshalb wird es mit Hilfe einer Seilwinde oder eines motorisierten Schleppflugzeuges gestartet. Beim Windenstart ist vor allem auf die der jeweiligen Startphase angepaßte Steigfluglage, d.h. dem Winkel der Flugzeuglängsachse zum Boden zu achten, damit bei einem Seilriß zu jedem Zeitpunkt noch eine sichere Landung möglich ist. Dagegen kommt es beim Flugzeugschleppstart darauf an, das Schleppseil immer in einem bestimmten Spannungszustand zu halten und gleichzeitig die richtige Position sowohl in der Vertikalen als auch in der Horizontalen bezogen auf das Schleppflugzeug einzunehmen. Nach BEIER werden die bei den verschiedenen Startarten auftretenden Belastungen subjektiv wie objektiv als etwa gleich hoch eingeschätzt.

Zur Flugphase:

Zusätzlich zu den aus der Motorfliegerei bekannten Aufgaben der Flugzeug- und der Flugführung wie Steuerung, Überwachung der Instrumente, Luftraumbeobachtung und Beachtung der Luftverkehrsvorschriften hat der Segelflugpilot noch folgende Aufgaben wahrzunehmen:

Wegen des im Gleitflug auftretenden Höhenverlustes ist es dem Piloten in der Regel nicht möglich, konstant eine bestimmte Flughöhe einzuhalten. Das macht ständige Schätzungen oder Berechnungen des voraussichtlichen Gleitpfades erforderlich. Zur Erzielung eines Höhengewinnes ist, besondere Situationen ausgenommen, ein Kreisen des Flugzeuges in einem Aufwindgebiet notwendig. Die im wesentlichen aufgrund thermischer Unterschiede der

Luft über verschiedenen geomorphologischen Strukturen entstehenden Aufwindgebiete bezeichnet man der Form gemäß als Thermikschläuche. Je nach Windstärke kommt es beim Aufstieg der Luftmassen zu einer mehr oder minder starken seitlichen Versetzung. Innerhalb eines Thermikschlauches findet man bei normalen Wetterverhältnissen zum Teil Differenzen der Vertikalgeschwindigkeit der Luft in der Größenordnung von mehreren Metern in der Sekunde. Aus den beiden letztgenannten Gründen sind deshalb je nach Wetterlage in der Thermik häufige Korrekturen der Fluglage erforderlich, um im Aufwindgebiet, möglichst noch im Bereich optimaler Steigwerte zu verbleiben. Die Vielzahl der dabei wirksamen Beschleunigungskräfte in allen drei Ebenen bedingt nach BEIER und CRANGE eine gegenüber den Motorpiloten höhere Belastung des Vestibularapparates.

Vor allem bei Wettbewerbsflügen befinden sich oft mehrere Segelflugzeuge gemeinsam in einem Aufwindfeld, was eine besonders intensive Luftraumbeobachtung erforderlich macht. Gerade in jüngster Zeit kam es in dieser Situation wiederholt zu Zusammenstößen in der Luft mit meist tödlichen Folgen. In der diesen Unfällen folgenden Diskussion der Segelfliegeröffentlichkeit wurde von prominenten Piloten die Frage nach einer etwaigen Überforderung des Segelfliegers in dieser Situation gestellt.

In der Regel bedient sich der Segelflugpilot der terrestrischen Navigation, d.h. er benutzt außer Karte und Kompaß keine anderen Hilfsmittel zur Bestimmung und Kontrolle des Flugkurses. Erschwert wird diese Aufgabe durch zwei Faktoren: 1. Durch das häufige Kreisen des Flugzeuges zur Erzielung eines Höhengewinnes, wobei zusätzlich zu der Irritation durch die ständigen Drehbewegungen je nach Windrichtung und Windstärke eine Versetzung vom Kursweg stattfinden kann. 2. Der Pilot kann

eine Strecke oft nicht auf geradem Kurs überbrücken, sondern muß sich auch an den voraussichtlich anzutreffenden Aufwindverhältnissen orientieren. So kann er größere Entfernungen meist nur in mehreren Teilstrecken überwinden, muß also mehrfach eine bestimmte Höhe in einem Aufwindgebiet erreichen und diese Höhe durch Abgleiten wieder in Strecke umsetzen.

Gut ausgebildete Fähigkeiten und Wissen auf dem Gebiet der Meteorologie sind neben der Fähigkeit zur eigentlichen Flugzeugsteuerung sowohl im Planungsstadium als auch bei der Durchführung des Fluges von wesentlicher Bedeutung. So ist zur erfolgreichen Planung von Richtung und Strecke eines Fluges, zur Abschätzung der erreichten Geschwindigkeit und der benötigten Zeit die Interpretation einer Reihe von meteorologisch-atmosphärischen Kenndaten vorzunehmen, auch im Hinblick auf die zu erwartende Wetterentwicklung. Wichtige zu berücksichtigende Parameter sind z. B. Wind mit Stärke und Richtung, Taupunkt, Temperatur der Atmosphäre mit zunehmender Höhe, Höhe der Hauptwolkenuntergrenze, Berechnung der zu erwartenden Stärke des Aufwindes. Während des Fluges ist die unter Berücksichtigung dieser Kenndaten erfolgende Beobachtung des Wetterbildes in seiner Entwicklung ebenso wichtig wie die ständige Beobachtung und Beurteilung der gerade überflogenen geomorphologischen Strukturen. Dadurch wird der Pilot in die Lage versetzt, entweder Aufwindgebiete gezielt anzufliegen oder aber zumindest in dem am ehesten erfolgversprechenden Raume mit der Suche zu beginnen.

Im Rahmen der Verbesserung der technischen Eigenschaften von Segelflugzeugen änderte sich auch die Form des Rumpfes, der heute im Querschnitt betrachtet wesentlich schmaler und niedriger gebaut wird. Diese Optimierung der Maschine führt bei manchen Piloten mit höherem Kör-

pergewicht zu einer bemerkenswerten Enge im Cockpit und zwingt jeden Piloten in eine halb sitzende, halb liegende Position. Einen Arm vorgestreckt am Steuerknüppel, die Füße auf den Seitenruderpedalen im bei entsprechenden Wetterbedingungen oft empfindlich kühlen Fußraum des Cockpits verharret er über oft viele Stunden weitgehend immobilisiert. Nach den Untersuchungen von CRANGE kann diese Position bisweilen für Schädigungen der Lendenwirbelsäule ursächlich sein.

Nach NEUBERT und CRANGE ist der Pilot je nach Witterung starken Schwankungen der Kabinentemperatur ausgesetzt. In einer Höhe von 2.500 m beträgt die Temperatur unter einem Wolkenschatten oft nur wenig mehr als 0 Grad Celsius. Auf dem Fluge zwischen den Wolken kann die Temperatur dann um mehr als 20 Grad Celsius ansteigen. Der Pilot selbst hat über die häufig nur unzureichend wirksame Belüftung und wegen der fehlenden Heizung nur geringe Einflußmöglichkeiten auf die Cockpitterperatur. So bleibt ihm nur die Möglichkeit, die Folgen zu großer Flüssigkeitsverluste während längerer Flüge zu vermeiden [4,26,41].

Bei längeren Flügen sind Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme notwendig [4,5,26,41]. Doch zur Vermeidung einer Miktion verzichten heute noch viele Piloten auch auf längeren Flügen auf eine Flüssigkeitszufuhr. An dieser Stelle kann einmal mehr an die Hersteller von Segelflugzeugen appelliert werden, Einbauten zur Erleichterung der Miktion nicht nur bei Maschinen der obersten Preisklasse anzubieten.

Zur Landephase:

Beim Segelflugzeug gibt es bei einem zu kurzen oder zu niedrigen Landeanflug nicht die Möglichkeit, die Landebahn durch den schnellen Einsatz von Motorkraft doch noch zu erreichen. So bieten höhere Anflüge ein höheres Maß an Sicherheit. Die gut wirksamen Sturzflugbremsen vermögen die Sinkrate im Bedarfsfalle drastisch zu erhöhen. Deswegen sind Landungen auf einem Flugplatz in der Regel als unproblematisch anzusehen. Beim Streckensegelflug sind allerdings auch Landungen außerhalb von Flugplätzen nicht selten notwendig. Sie stellen hohe Anforderungen an die Konzentrationsfähigkeit sowie an die Fähigkeit, Entfernungen, Geschwindigkeiten und Höhen richtig einzuschätzen. Eine Gefährdung von Mensch und Maschine ist bei solchen Landungen nie auszuschließen, besonders dann nicht, wenn zum Zeitpunkt der Außenlandung bereits ein mehrstündiger, volle Konzentration erfordernder Flug absolviert wurde.

Diese Ausführungen lassen es sinnvoll erscheinen, die auf den Gebieten des Motorfluges und bei Segelflügen im Flugplatzbereich gewonnenen flugmedizinischen Erkenntnisse nicht von vornherein auf längere und Streckensegelflüge zu übertragen.

2.2. Bedeutung des Segelflugsportes in der allgemeinen Luftfahrt

2.2.1. Umfang der fliegerischen Tätigkeit

Im Deutschen Aero-Club (DAeC) sind zur Zeit mehr als 38.000 Mitglieder organisiert [17]. Die amtliche Statistik des Luftfahrtbundesamtes in Braunschweig weist für 1982 etwa 25.000 Piloten als Inhaber einer Erlaubnis für Segelflugzeugführer aus [43]. Für die beim Streckensegelflug erbrachten Flugleistungen kommt fast ausschließlich diese Gruppe in Betracht. Der gleichen Publikation ist der Gesamtbestand von nun etwa 6.400 in der BRD zugelassenen Segelflugzeugen zu entnehmen, dies ist knapp die Hälfte des Weltbestandes. Dabei nahm der Anteil der in moderner Kunststoffbauweise hergestellten Flugzeuge weiter auf nunmehr 59 % des Bestandes zu. Von einer gleichartigen Entwicklung berichtet CRANGE aus Frankreich. Im Jahre 1984 erfolgten fast 900.000 Flüge mit einer Gesamtflugzeit von mehr als 520.000 Flugstunden. Dies entspricht etwa einem Viertel aller Flüge der allgemeinen Luftfahrt mit Flugzeugen bis zu einem Gewicht von 5,6 Tonnen. Die durchschnittliche Flugzeit pro Start stieg in den vergangenen Jahren stetig, erklärbar durch eine Zunahme des Streckensegelfluges auf breiter Ebene. Nach einer Statistik des Deutschen Aero-Club wurden 1981 Streckenflüge mit Segelflugzeugen über eine Gesamtstrecke von 2,7 Millionen Kilometern realisiert.

2.2.2. Segelflugunfälle, Statistik und Ursachen

Bereits im Jahre 1939 äußerte sich der weithin als Vater der deutschen Flugmedizin angesehene RUFF zu den Ursachen schwerer innerer Verletzungen bei Gleitflugzeugunfällen und über Maßnahmen zur Verminderung dieser

Verletzungen. Segelflugunfälle hatten also schon damals eine gewisse Bedeutung. STEVENS berichtet aus Großbritannien in einer zusammenfassenden Arbeit über insgesamt 22 Unfälle mit tödlich Verletzten im Zeitraum von 1950 bis 1968. Nach COOKE, BALFOUR und UNDERWOOD GROUND gab es in England im Zeitraum 1960 bis 1980 33 Unfälle mit 39 Toten. Über die Entwicklung in Deutschland geben die Statistiken des Luftfahrtbundesamtes (LBA) in Braunschweig Auskunft. In absoluten Zahlen ereigneten sich seit Mitte der 70er Jahre bis heute jeweils jährlich etwa 200 - 300 Unfälle mit Segelflugzeugen. Die Anzahl der Unfälle bezogen auf die Anzahl der durchgeführten Flüge liegt im Vergleich mit anderen Luftfahrzeugarten mit Abstand an höchster Stelle. Der Segelflugzeugführer trägt also das höchste Unfallrisiko. Demgegenüber ist die Häufigkeit tödlicher Unfälle insgesamt als vergleichsweise gering anzusehen. Übereinstimmend sind bei COOKE, BALFOUR und UNDERWOOD GROUND, Großbritannien, CRANGE, Frankreich, und LBA mehr als drei Viertel aller Unfälle von Segelflugzeugen Landeunfälle. Auf Landeunfälle entfällt wiederum übereinstimmend der geringste Prozentsatz an tödlichen Unfällen.

In seinem Bericht über Segelflugunfälle im Zeitraum 1973 bis 1977 stellte das LBA bezüglich der Unfallursachen zwei Schwerpunkte deutlich heraus: 1. Eine geringe Flugenerfahrung auf dem jeweiligen Baumuster mit einem absoluten Maximum unterhalb der 10 Stunden-Grenze.
2. Wenige Starts in den letzten 90 Tagen vor dem Unfall.

Für uns ist jedoch die Auswertung der Zahlen des LBA aus dem Jahre 1982 [43] bezüglich der Unfälle bei Außenlandungen interessanter. Nach Auskunft des LBA wird die Kategorie "Streckensegelflug" statistisch nicht gesondert geführt. Die Kategorie "Außenlandeunfälle" dürfte jedoch den größten Teil der Unfälle beim Streckensegelflug er-

fassen, da die Unfälle in der Betriebsphase "Flug" als zahlenmäßig unbedeutend angenommen werden dürfen. Bei den Außenlandeunfällen ist zusätzlich zu dem oben Gesagten eine markante Abhängigkeit von der Gesamtflugerfahrung mit stark abnehmender Unfallhäufigkeit oberhalb einer Gesamtflugzeit von 250 Stunden zu verzeichnen.

Die meisten Unfälle geschehen in der Zeit von 13.00 Uhr bis 16.00 Uhr, also in etwa in der Zeit des bekannten mittäglichen physiologischen Leistungstiefs. Um sich eventuellen Ermüdungsphänomenen von der Seite der Unfallforschung anzunähern, wäre ein Vergleich der Unfallzahlen in Abhängigkeit von der Flugzeit mit der Verteilung der Flugzeiten aller Streckenflüge interessant. So geschehen etwa 25 % aller Außenlandeunfälle nach einer Flugzeit von mehr als 3 Stunden. Die Daten des LBA geben leider keine Auskunft darüber, ob analog dazu auch etwa 25 % der Streckensegelflüge länger als 3 Stunden dauern. Die Frage nach einer Häufung von Unfällen mit zunehmender Flugdauer kann also z.Zt. nicht beantwortet werden.

Aus flugmedizinischer Sicht besteht nach SUCHNER bei 6,2 % aller Segelflugunfälle und sogar bei 16,7 % aller Segelflugunfälle mit tödlich Verletzten der Verdacht auf eine primär körperliche Beeinträchtigung. Dabei handelt es sich fast immer um eine Störung im kardiovaskulären System. Allerdings scheinen Piloten der allgemeinen Luftfahrt hier nach BOOZE kein zusätzliches Risiko zu tragen. Nach RYAN und MOHLER war noch 1969 bei über 16 % aller Unfälle vorhergehender Alkoholgenuß im Spiel. SUCHNER fand 1982 bei der Auswertung von über 1.000 Segelflugunfällen nur in 4 Fällen Spuren von Alkohol.

Kürzlich machte DILLE darauf aufmerksam, daß die durch Ereignisse wie z.B. Trauerfall, Hochzeit oder Examen ausgehende psychische Beeinflussung unabhängig von ihrer subjektiven Bewertung als positiv oder negativ das Unfallrisiko erhöhen kann.

Eine gezielte Weitergabe des auf dem Sektor Unfallforschung bekannten Wissens an die Betroffenen erscheint sinnvoll, geschieht jedoch zum gegenwärtigen Zeitpunkt in nur geringem Umfang.

2.2.3. Medizinische Voraussetzungen für die Feststellung der Fliegertauglichkeit

Als Teilnehmer an der allgemeinen Luftfahrt ist auch für den Führer eines Segelflugzeuges eine medizinische Untersuchung durch besonders dafür ausgebildete Ärzte in regelmäßigen Abständen (zur Zeit 2 Jahre) gesetzlich vorgeschrieben. Die Bundesanstalt für Flugsicherung (BFS) hat die Bedingungen für die Feststellung der Tauglichkeit für alle Teilnehmer am Luftverkehr festgelegt (9). Segelflugzeugführer müssen den Tauglichkeitsgrad III erlangen. Bezüglich des Herz-Gefäßsystems heißt es in den Nachrichten für Luftfahrer (NFL) 1974 auf S. 77: "Das Herz muß organisch gesund und belastbar sein. Der periphere Kreislauf muß bei Belastungen eine gute Fähigkeit zu physiologischer Reaktion zeigen." Es folgt eine Liste pathologischer Befunde des Herz-Kreislaufsystems als Ausschlußkriterien.

Flugsportmedizinische Untersuchungen sind nicht in allen europäischen Ländern obligatorisch, wurden aber teilweise gefordert, so 1983 von HARDING und MILLS für Großbritannien. Im Gegensatz dazu wird die in der BRD bestehende Regelung von einigen prominenten Sportfunk-

tionären als überzogen angesehen. So entfachte sich in den letzten Jahren auch vor dem Hintergrund jüngerer flugmedizinischer Arbeiten zum Thema Segelflug [4,66,77] in der Segelfliegeröffentlichkeit eine Diskussion mit recht kontroversen Standpunkten. Diese Untersuchung will zur Frage der Kreislaufbelastung während längerer Flüge einen Beitrag leisten.

2.3. Psychophysische Belastungen des Segelfliegers

Es wird unterschieden zwischen physischen und psychischen Belastungsmomenten. Als physische Belastungsmomente sind sowohl körperliche Arbeit als auch physikalische Einflüsse wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit, Luftdruckveränderungen und Änderungen des Sauerstoffpartialdruckes sowie Beschleunigungskräfte anzuführen. Als psychische Belastungsmomente sind die Erwartungsspannung vor dem Fluge, die komplexe Beanspruchung durch die Aufgaben während des Fluges, Furcht und Angst sowie die Ermüdung anzusehen.

2.3.1. Physische Belastungsmomente

Körperliche Arbeit

Während des Fluges wird körperliche Arbeit durch die Betätigung der verschiedenen Ruder über den Steuerknüppel und die beiden Fußpedale geleistet. Nach KASSERA ist eine häufige Ruderbetätigung während des Kreisens im Thermikschlauch erforderlich, um das Flugzeug möglichst im Gebiet der höchsten Vertikalgeschwindigkeit der Luft zu halten. Die zu leistende Arbeit entspricht sowohl einer statischen als auch einer dynamischen Muskelbean-

spruchung. Nach BEIER ist die zu leistende körperliche Arbeit als gering einzustufen, führte aber dennoch bei ihrer Simulation zu einer markanten Veränderung spirometrischer Meßwerte.

Temperatur und Luftfeuchtigkeit

Unter Segelfliegern sind die auftretenden bisweilen starken Temperaturschwankungen während längerer Flüge eine seit langem bekannte Erfahrungstatsache. Bei einer Höhendifferenz von 100 m nimmt die Lufttemperatur normalerweise um etwa 0,65 Grad Celsius ab. So wäre bei einer Lufttemperatur am Boden von etwa 25 Grad Celsius in einer Höhe von 2.000 m mit einer Lufttemperatur von etwa 12 Grad Celsius zu rechnen. Für die tatsächliche Cockpittertemperatur kommt es zusätzlich darauf an, ob Sonneneinstrahlung besteht und wegen des sog. Treibhauseffektes unter der Vollsichthaube aus Plexiglas eine höhere Temperatur vorhanden ist. Nach WENZEL liegt der Behaglichkeitsbereich der Umgebungstemperatur etwa zwischen 17 Grad und 24 Grad Celsius. In der Militärfliegerei wurde das Problem der Temperaturbelastung verschiedentlich behandelt. So maß NUNNELEY die Temperaturen in der Kabine des Jets F-4 und führte im Simulator physiologische Untersuchungen durch. Er berichtet, daß Hitzebelastung und Dehydratation sowohl Leistungsfähigkeit als auch die Toleranz gegenüber anderen Belastungen wie z.B. Beschleunigungen oder vermindertem Sauerstoffpartialdruck in Höhen um 1.500 m beeinflussen. Außerdem wird über ein deutliches Müdigkeitsgefühl berichtet, welches erst nach der soeben erwähnten nicht bewußt erlebten Leistungsminderung auftritt, die so in Notfällen bedeutsam werden könnte. SAXTON fand bei unter Hitzebelastung erhöhten Rektaltemperaturen deutliche Herzfrequenzsteigerungen. Nach WEBB kommt es

sowohl unter Beschleunigungs- als auch unter Hitzebelastungen zu einem deutlich gesteigerten O_2 -Verbrauch, z.B. bei einer Zunahme der Rektaltemperatur von 37 Grad auf 37,7 Grad Celsius um etwa 10 - 20 % (mit entsprechenden cardiozirkulatorischen Veränderungen).

Zu hohe relative Luftfeuchtigkeit verhindert die Wärmeabgabe über Abdunstung von Flüssigkeit. In Verbindung mit einer hohen Umgebungstemperatur kommt es oberhalb bestimmter Grenzwerte beider Größen zum Auftreten eines bekanntlich als unangenehm erlebten Schwüleempfindens [64].

Im Bereich des Segelfluges wurden bislang nur Meßergebnisse von NEUBERT publiziert. Dort wird die Bedeutung der Strahlungswärme gegenüber der Trockentemperatur der Luft herausgestellt. Der nach WENZEL erforderliche Aufwand für differenzierte Klimamessungen konnte hier - wie übrigens auch in der vorliegenden Untersuchung - nicht betrieben werden, stellt aber wohl eine lohnenswerte Aufgabe dar.

Luftdruckveränderungen und Änderungen des Sauerstoffpartialdruckes

Neben einer Temperaturabnahme kommt es mit zunehmender Höhe zu einer Abnahme des Luftdruckes und damit verbunden zu einem niedrigeren Sauerstoffpartialdruck. Dies führt nach KIRCHHOFF und MEYER-ERKELENZ unterhalb einer Höhe von etwa 900 m zu keiner signifikanten Zunahme der Herzfrequenz. Zu einem vitalen Problem wird der Sauerstoffmangel nach RUFF erst oberhalb von etwa 4.000 m. Außerhalb der Alpen wird eine solche Höhe nur ausnahmsweise erreicht, die durchschnittliche Arbeitshöhe liegt nach REICHMANN zwischen 1.000 und 3.000 m.

Beschleunigungskräfte

Unter der Einwirkung der Erdschwere erfährt ein Körper die Beschleunigung $g = 9.81/\text{m}/\text{sec}^2$. Das Lastvielfache g ist ein Maß für auftretende Beschleunigungen im Vergleich zur Erdbeschleunigung. Beschleunigungen werden nach GILLIES eingeteilt nach der Richtung ihrer Wirksamkeit. Jede Beschleunigung läßt sich in drei Komponenten zerlegen. Beschleunigungen in Richtung der Längsachse des Flugzeuges werden mit g_x bezeichnet, solche in Richtung der Querachse mit g_y und solche in Richtung der Hochachse mit g_z . Unter hämodynamischen Gesichtspunkten ist dabei für den Segelflugzeugführer g_z am wichtigsten, weil es sich wegen der halbsitzenden Position des Piloten im Flugzeug vorwiegend um eine Beschleunigung in kranio-kaudaler Richtung handelt. Ein erhöhtes g_z tritt auf beim Hochziehen des Flugzeuges aus größerer Geschwindigkeit, um in einen Aufwind-schlauch einzufliegen, beim Kreisen im Aufwind und auch beim Abfangen in der letzten Phase der Landung.

Nach VOGÉ und WHINNERY verändert ein g_z größer als 3 den Hämatokrit-Wert und ruft gelegentlich auch EKG-Veränderungen hervor. Solch hohe g_z sind nach KASSERA beim Segelflug nur ausnahmsweise zu erwarten. VETTES beobachtete bei Zentrifugenversuchen bei 1,5 g über 20 min. eine Erhöhung der Herzfrequenz von 87 auf 94 Schläge/min. und nachfolgende Stabilisierung bei 55 - 88 Schlägen/min. noch während der g -Belastung. Dies stimmt mit den Ergebnissen von VOGÉ überein, die erhöhte Herzfrequenzen in Abhängigkeit von Änderungen der Beschleunigung und weniger von deren Niveau beschreibt. Hier findet sich auch ein Hinweis auf Ermüdung bei ständig wechselnder g -Belastung.

Zusätzlich zu den häufig wechselnden g_z -Belastungen ist der Segelflugpilot beim Kreisen im Aufwind vor allem horizontalen Beschleunigungen ausgesetzt, die wegen ihrer Unregelmäßigkeit und Unvoraussehbarkeit einen ständigen Reiz auf das Vestibularsystem ausüben. Dies kann nach SCHÖNHERR selbst bei erfahrenen Piloten zum Auftreten von Kinetosen führen. Dabei ist nach BEIER die Pathogenese noch weitgehend unklar.

2.3.2. Psychische Belastungskomponenten

Die von verschiedenen Autoren [4,10,13,21,40,69,78] gefundenen Veränderungen physiologischer Meßgrößen beim Segelflug werden einheitlich hauptsächlich als Reaktion auf die dabei auftretende psychische Anspannung angesehen. Nach GARTNER umfaßt die psychophysische Belastung die Summe der Anforderungen der zu lösenden Aufgaben, die Anstrengung, diese Anforderungen zu erfüllen sowie die bei der Ausführung der entsprechenden Tätigkeit auftretenden und eventuell meßbaren körperlichen Belastungen. Die psychischen Belastungen sind nach NEUBERT und MOECKEL differenzierbar in emotionale und mentale Belastungen.

Bezüglich der emotionalen Belastungen ist nach [13] das subjektive Risikoerlebnis von entscheidender Bedeutung. In weiteren Arbeiten [11,12] wird über erfolgreiche Beeinflussungsversuche mit Beta-Rezeptorenblockern bei Flugschülern im Platzflugverkehr berichtet. Kürzlich stellte BAADER Untersuchungen über Angst und Furcht beim Segelfliegen an. Er stellte bei allen Piloten Furcht beim Fliegen fest, bei erfahreneren Piloten jedoch in geringerem Ausmaß. Angst vor gefährlichen Situationen fand sich sowohl bei der Gruppe erfahrener wie der

Gruppe unerfahrener Flugzeugführer. Die Art der Angst war bei beiden Gruppen mit psychologischen Untersuchungsverfahren diskriminierbar. Bei gleichem Reaktionsverhalten waren die physiologischen Reaktionen (Herzfrequenz, Atemfrequenz) in der Gruppe erfahrener Piloten bei diesen im Platzflugverkehr durchgeführten Untersuchungen im Vergleich zur Gruppe unerfahrener Piloten weniger ausgeprägt. Untersuchungen in realen Gefahrensituationen wurden nicht vorgenommen.

Mentale Belastungen werden bedingt durch die notwendige sichere Beherrschung des Flugzeuges, Aufgaben der Flugführung im allgemeinen und durch die unter 2.1.2. diskutierten Besonderheiten der segelfliegerischen Technik im besonderen.

NEUBERT machte 1978 auf die Bedeutung der Antizipation für die Belastungsverarbeitung beim Segelfliegen aufmerksam. Dies gilt besonders für die Unfallverhütung und Flugoptimierung durch die Entwicklung von Routinen, wie sie beim Motorflug schon seit langem üblich sind.

Es ist zu bemerken, daß schon vor Beginn des eigentlichen Fluges eine psychische Belastung, die sogenannte Erwartungsspannung, besteht und in veränderten physiologischen Größen ihren Niederschlag findet. Dabei stellte KROLL an Piloten des Jets Fiat G 91 beim Simulatorflug eine deutliche zirkadiane Rhythmik fest. In Übereinstimmung mit FARIA und DRUMMOND ist ihr Einfluß zwischen 12.00 Uhr und 19.00 Uhr mit einer Änderung der Herzfrequenz um wenige Schläge pro Minute allerdings nur als gering einzustufen.

Bei Dauer- und Streckenflügen kann nach NEUBERT eine auftretende Ermüdung die Verarbeitung psychischer Belastungen beeinflussen. Nach seinen Pilotenbefragungen

kommt es nach ca. 4 Stunden Flugzeit zu einer kritischen Phase mit dem Gefühl einer insgesamt beeinträchtigten Leistungsfähigkeit. Dies sei eine der Ursachen für Fehlreaktionen, die vor allem bei der Landung nach einem längeren Flug häufig zu beobachten seien. Leider ist den Publikationen des Luftfahrtbundesamtes nicht zu entnehmen, ob sich dieser Sachverhalt in einer größeren Zahl von Unfällen bei der Landung nach längeren Flügen niederschlägt. Tritt Ermüdung bereits bei längeren Flügen in Flugplatznähe auf, so können diese durch bei Überland- und Wettbewerbsflügen zusätzlich auftretende Stress-Faktoren noch verstärkt werden. Solche zusätzlichen Einflüsse sind nach NEUBERT z.B. Ehrgeiz, Zeitdruck oder das Fliegen im Pulk mit zahlreichen Flugzeugen auf engem Raum. Die Phänomenologie der psychischen und physischen Ermüdungen wurde 1965 von SCHMIDTKE eingehend beschrieben. Im Bereich der Flugmedizin sind als Einflußfaktoren die Hypoxie, die Umgebungstemperatur, die g-Belastung ebenso wie die Tageszeit bekannt. Dies wird dargestellt von NUNNELEY und WENZEL. Diese Faktoren bestätigend, macht CRANCE zusätzlich auf die beim Leistungssegelflug oft unzureichende Nahrungs- und vor allem Flüssigkeitsaufnahme als eine Ursache vorzeitiger Ermüdung aufmerksam.

2.3.3. Bisherige Untersuchungen zur Feststellung der psychophysischen Belastung

Historische Bedeutung besitzt die erste Aufzeichnung eines Elektrokardiogramms bei Motorflugpiloten während des Fluges durch VON DIRINGSHOFEN im Jahre 1933. In der Folge wurde die zeit- und ereignissynchrone Aufzeichnung der Herzfrequenz zur klassischen Methode der Abschätzung der Belastung von Piloten während des Fluges. Die ersten entsprechenden Untersuchungen an Segelflugpiloten gehen in Deutschland auf das Jahr 1965 durch ROSKAMM, BECKHOVE

und REINDELL zurück. Kurz danach berichtete SCHALOW aus Frankreich über Untersuchungen beim Höhenflug. Die Verhältnisse im Platzflugverkehr, also meist Flügen von etwa 5 Minuten Dauer, wurden studiert von BEIER, BURCHARDT, CLASING, EICHLER und STÜBEN sowie von S'JONGERS, BERTELS und EGO im französischen Sprachraum. Alle fanden eine doppelgipflige Verlaufskurve der Herzfrequenz mit unterschiedlich hohen Maxima bei Start und Landung. Zur Differenzierung der psychischen Anspannung als Anteil der Gesamtbelastung wurden von einigen Untersuchern zusätzliche Meßgrößen erfaßt. So reagiert nach EICHLER die Atemfrequenz sensibler auf psychische Anspannungen als die Herzfrequenz. STÜBEN fand impedanzkardiografisch unterschiedliche Schlag- und Herzminutenvolumina bei Fluglehrern und Flugschülern. BEIER verwandte die Sauerstoffaufnahme als Bezugsparameter für die Größe der rein körperlichen Arbeit und die Atemfrequenz zur Abschätzung der psychischen Belastungskomponente. In Anlehnung daran betrachtet SCHÖNHERR mit ähnlicher Methodik die Verhältnisse beim Geradeaus-, Kreis- und Thermikflug und sieht die gefundenen Werte als Minimalbelastung bei günstigen Bedingungen an.

Über das Verhalten physiologischer Parameter bei Langzeit- und Überlandflügen ist bisher wenig bekannt. So berichten CLASING und BURCHARDT über wenige Einzel Flüge von bis zu 3 Stunden Dauer, bei denen sie übereinstimmend eine Abnahme der Herzfrequenz im Flugverlauf registrieren. Diese Beobachtung wird bei Piloten mit geringer Flug erfahrung gemacht.

In den meisten der vorliegenden Untersuchungen wird ein Einfluß der Flug erfahrung auf das Verhalten der Herzfrequenz gesehen.

1983 erstellte WHITAKER ein sportmedizinisches Leistungsprofil von Segelfliegern und führte in diesem Rahmen Speicher-EKG-Untersuchungen bei Wettkampfflügen durch. Im Gegensatz zu den vorgenannten Autoren fand sie bei Ausgangswerten für die Herzfrequenz von etwa 100 Schlägen/min. regelmäßig einen Frequenzanstieg im weiteren Verlauf des Fluges. Zu ähnlichen Ergebnissen beim Wettbewerbsflug kommt KRÜGER. Zur Frage der fliegerischen Gesamtbelastung bei längeren Flügen und besonders bei Streckenflügen außerhalb des Wettkampfes gibt die Literatur keine weitere Auskunft.

2.3.4. Vergleich mit anderen Formen fliegerischer Betätigung

Zahlreiche Publikationen [1,8,32,36,38] geben Auskunft über die psychophysische Belastung von Piloten anderer Luftfahrzeugklassen. Nach BEIER erscheint die psychophysische Belastung von Segelflugpiloten bei Kurzzeitflügen geringfügig höher als für die Piloten anderer Luftfahrzeugklassen beschrieben. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt SCHÖNHERR nach der Betrachtung physiologischer Parameter bei etwa 10minütigen Intervallen während kurzer Thermikflüge.

3. Methodik

Die vorliegende Untersuchung wurde im Rahmen eines Projektes des Institutes für Flugmedizin der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR) Köln mit wesentlicher Unterstützung der DFVLR Braunschweig durchgeführt. Dabei wurden in Zusammenarbeit mit anderen Untersuchern Daten zu verwandten Frage-

stellungen erhoben. Mit einem Forschungssegelflugzeug der DFVLR Braunschweig wurden vom dortigen Flugplatz aus in der Zeit vom 25.5. bis 12.6.1982 insgesamt 16 Flüge unternommen.

3.1. Probandenkollektiv

Von 9 verschiedenen Probanden wurden ein oder mehrere Flüge absolviert. Es handelte sich dabei durchweg um erfahrene Piloten der DFVLR Braunschweig und der Akademischen Fliegergruppe Braunschweig. Alle hatten bereits ein- oder mehrmals an deutschen oder Landesmeisterschaften teilgenommen, verfügten also auch über Wettbewerbs-erfahrung im Leistungssegelflug. Die durchschnittliche Segelflugerfahrung lag bei 635 ± 457 Flugstunden, das Durchschnittsalter bei etwa $29 \pm 7,7$ Jahren, das Alter des jüngsten Piloten 21 Jahre, dasjenige des ältesten 43 Jahre. Bis auf einen Probanden, der in der laufenden Saison vor Beginn unserer Untersuchung nur Flüge mit Motorflugzeugen absolviert hatte, wiesen alle Piloten zum Untersuchungsbeginn bereits eine Flugerfahrung in der laufenden Saison (ca. 90 Tage vor Testflügen) von mehr als 10 Segelflugstunden auf. Alle Versuchspersonen verfügten über mindestens 20 Flugstunden Erfahrung auf dem verwendeten Flugzeugmuster Janus. Einzeldaten zu den verschiedenen Probanden werden bei der Besprechung jedes Fluges im Ergebnisteil dargestellt.

Wegen der für jeden Piloten alle 2 Jahre vorgeschriebenen fliegerärztlichen Tauglichkeitsuntersuchung wurde auf eine Nachuntersuchung der Probanden verzichtet. Bei keinem der Probanden hatten die Untersuchungen einen die Tauglichkeit beeinflussenden Befund erbracht. Zum Zeitpunkt dieser Untersuchung fühlte sich niemand gesundheitlich beeinträchtigt. Bis auf einen Pfeifen- und einen

Zigarettenraucher mit einem Konsum von weniger als 10 Zigaretten täglich sind alle Probanden Nichtraucher. Alle Versuchspersonen gaben an, regelmäßig mindestens einmal wöchentlich eine Ausgleichssportart wie Dauerlauf oder Radfahren zu betreiben.

3.2. Flugzeug und apparative Ausstattung

Für die Zeit der Untersuchungen steht ein doppelsitziges Hochleistungssegelflugzeug vom Typ Janus zur Verfügung. Dabei handelt es sich um ein in moderner Kunststoffbauweise gefertigtes Flugzeug mit einem Gleitwinkel von besser als 1:40. Die technischen Daten des Flugzeuges sind ebenso wie die der verwendeten Geräte im Anhang aufgelistet.

Die beiden Sitze des Flugzeuges sind hintereinander angeordnet. Der hintere Sitz wird durch den Untersucher belegt, so daß der vorne sitzende Pilot nicht durch Sichtkontakt durch die Anwesenheit des Untersuchers abgelenkt wird. Fest im Flugzeug installiert ist eine PCM-Anlage (pulse code modulation) vom Typ RFE einschließlich Vorverstärkern und Batterien. Mit dieser Anlage werden kontinuierlich fliegerische und physiologische Parameter registriert. Im Bereich des hinteren Instrumentenbrettes wird ein Bandgerät vom Typ Stella Fox so eingebaut, daß der etwa alle 50 Minuten notwendige Bandwechsel vom Untersucher vorgenommen werden kann. Dieses Bandgerät speichert die von der PCM-Anlage aufgenommenen Meßwerte und ist zusätzlich mit einer Tonspur für Kommentare zur fliegerischen Situation versehen. Zur Erfassung fliegerischer Parameter sind Meßwertaufnehmer fest im Flugzeug installiert. Die Aufnahme des EKG-Signals

durch die PCM-Anlage erfolgt nach Passage eines eigens für diesen Zweck vorbereiteten Verstärkers.

Auf einem Kniebrett wurden zusätzlich schriftlich ein Flugprotokoll, außerdem das Protokoll der durchgeführten Befragungen zum Befinden des Piloten während des Fluges erstellt.

Einen Überblick über die mitgeführten Materialien gibt der Anhang.

3.3. Datenerfassung und Datenauswertung

Die Erfassung kontinuierlich aufgezeichneter Daten erfolgt über die im vorigen Abschnitt bereits erwähnte PCM-Anlage. Die Anlage digitalisiert die von den Meßwertaufnehmern weitergeleiteten Analogsignale auf parallelen Kanälen. In dieser für eine rechnergestützte Auswertung bereits geeigneten Form werden die Daten mit Hilfe des mitgeführten Bandgerätes gespeichert. So wird das EKG in der Ableitung II nach EINTHOVEN aufgezeichnet. Parallel dazu erfolgt sicherheitshalber die Aufzeichnung des EKG-Signals mit Hilfe eines tragbaren Recorders der Firma Oxford. Mit Hilfe eines modifizierten Programms nach SAMEL und WEGMANN wird die exakte Erkennung der R-Zacke sichergestellt, und jeweils über Intervalle von 20 sec. die Herzfrequenz berechnet. Diese Werte wiederum dienen als Grundlage für die Berechnung der mittleren Herzfrequenz mit Angabe der Minimal- und Maximalwerte der verschiedenen Flugphasen.

Parallel zur Erfassung des EKG erfolgt die Aufzeichnung fliegerischer Kenndaten: Höhe, Beschleunigung in der z-Ebene (g_z), Vertikal- und Horizontalgeschwindigkeit.

Dies erlaubt eine exakte zeitliche Zuordnung der jeweiligen fliegerischen Situation zu den aufgezeichneten physiologischen Daten. Wir unterscheiden folgende Phasen:

1. Ruhephase vor dem Start: Diese Phase umfaßt die 10 min. vor Beginn der Startphase. Dabei sitzt der Pilot nach abgeschlossener Flugvorbereitung ruhig im startbereiten Flugzeug.
2. Startphase: Diese Phase beginnt mit dem Anrollen des Flugzeuges und reicht bis zum Ausklinken vom Schleppflugzeug.
3. Flugphase: Beginnt mit Beendigung der Startphase, wird in 10 min.-Intervalle eingeteilt und reicht bis zum Beginn der Landephase.
4. Landephase: Beginnt 3 min. vor dem Ausrollen des Flugzeuges nach der Landung.
5. Ruhephase nach der Landung: Beginnt mit dem Ausrollen des Flugzeuges und dauert 10 min. Dabei sitzt der Pilot ruhig im Flugzeug.

Neben der kontinuierlichen Aufzeichnung von Daten werden zu bestimmten Zeitpunkten Befragungen zur subjektiven Einschätzung der Ermüdung sowie orientierende Leistungstests vorgenommen. Im einzelnen handelt es sich um:

- a) Self-rating-Test zur subjektiven Beurteilung der Ermüdung nach Goeters (siehe Anhang S. 105). Zur Auswertung wird nach dem Ausfüllen durch den Piloten jede Gerade in 10 gleichgroße Abschnitte eingeteilt, diese von links nach rechts mit Kennzahlen von 1 bis 10 versehen. Die Summe der jeweils angekreuzten Kennzahlen aller 18 Items, maximal also 180, dient als Maß zur Einschätzung der Ermüdung. Eine abnehmende Bewertungszahl bedeutet dabei zunehmende Ermüdung. Dieser Test wird vor und nach dem Fluge durchgeführt.

b) Self-rating-Test zur subjektiven Beurteilung der Ermüdung in gekürzter Form zur stündlichen Durchführung während des Fluges (61), (siehe Anhang S. 106).

Antworten lautend "besser als" werden mit zwei, Antworten lautend "genau" werden mit einem und Antworten lautend "schlechter als" werden mit keinem Punkt bewertet. So sind Bewertungszahlen zwischen 10 und maximal 20 Punkten möglich. Bewertet wird die Entwicklung im Flugverlauf.

c) Rechentest

Im Kopf sind in möglichst kurzer Zeit, aber dennoch möglichst fehlerlos, insgesamt 30 mehrgliedrige Rechenaufgaben zu lösen. Es handelt sich jeweils um Kombinationsaufgaben mit der Multiplikation einstelliger Zahlen, Addition oder Subtraktion zweistelliger Zahlen und anschließender Division. Bei der Auswertung werden benötigte Zeit und die Fehlerzahl betrachtet. Die Durchführung erfolgt vor und nach dem Flug.

d) Farbnamen, nach Stroop (siehe Anhang S. 108).

Hier geht es darum, in möglichst kurzer Zeit, jedoch unter Vermeidung von Fehlern, die Farbe von in unterschiedlichen Farben geschriebenen Farbwörtern zu benennen. Dies wird dadurch erschwert, daß gesehene Farbe und Farbwort nicht übereinstimmen. Dieser Test wird ebenfalls vor und nach dem Fluge durchgeführt, bewertet werden die benötigte Zeit und die Fehlerzahl.

e) Fragebogen zur Beurteilung des Fluges unter den Aspekten körperlicher Belastung, aufgetretenen Sensationen sowie technisch meteorologischem Schwierigkeitsgrad. Die vorgegebenen Antwortmöglichkeiten sind dem Anhang S. 104 zu entnehmen.

Außerdem wird während des Fluges stündlich die Temperatur im unteren, nicht der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzten Bereich des Cockpits gemessen. Dazu wird

ein batteriebetriebenes Gerät mit digitaler Anzeige verwendet.

Die Auswertung der gewonnenen physiologischen Daten erfolgt in einer kasuistischen Betrachtungsweise. Diese Notwendigkeit ergibt sich aus der Tatsache, daß die wechselnden meteorologischen Bedingungen bei dieser Fragestellung kein standardisiertes Flugprogramm zulassen. Zudem unterliegen physiologische Parameter wie die Herzfrequenz bekanntlich großen inter- und intraindividuellen Schwankungen.

Die Fragebögen zur Ermüdung und die beiden Leistungstests werden statistisch ausgewertet. Zur Anwendung kommt der Wilcoxon-Test für Paardifferenzen wie bei SACHS beschrieben.

3.4. Untersuchungsablauf

Für den Piloten beginnen die Vorbereitungen eines Fluges bereits gegen 7.00 Uhr morgens mit Wettererkundigungen und der groben Planung des in Frage kommenden Fluges. Unsere Vorgabe lautet, nach dem Flugzeugschleppstart einen an die jeweilige Wetterlage und an das eigene Können angepaßten Streckensegelflug zu unternehmen. Nach Möglichkeit soll die Strecke so gewählt werden, daß eventuell erforderliche ungeplante Landungen auf einem Flugfeld erfolgen können. Sofern die meteorologischen Bedingungen einen Überlandflug nicht zulassen, soll ein Segelflug von möglichst langer Dauer im Flugplatzbereich durchgeführt werden.

Nach dem Eintreffen auf dem Flugplatz füllt der Pilot Unterlagen zu seinen persönlichen Daten und zu seinem fliegerischen Status aus. Es folgen der Self-rating-Test

zur Einschätzung der Ermüdung, dann die beiden Leistungstests. Zuletzt werden die EKG-Elektroden angelegt und überprüft. Dann hat der Pilot Gelegenheit zur Vervollständigung seiner Flugplanung und die endgültige Entscheidung über den durchzuführenden Flug. Nach Inbetriebnahme der PCM-Anlage und Überprüfung der angeschlossenen Kanäle beginnt für den Piloten die Ruhephase vor dem Start. Während des Fluges ist ein Flugprotokoll zu erstellen, die Anlage zu überwachen und die stündliche Befragung zur objektiven Einschätzung der Ermüdung vorzunehmen. Stündlich ist die Cockpit-Temperatur zu messen. Zusätzliche Arbeiten sind für andere Untersuchungen vorzunehmen, werden hier jedoch nicht erörtert, sondern in weiteren Arbeiten dargestellt [23,26].

Anschließend an die Ruhephase nach der Landung werden abschließend der Self-rating-Test zur Ermüdung sowie die beiden Leistungstests durchgeführt. Außerdem beantwortet der Pilot die Fragen zur Beurteilung des Fluges.

4. Ergebnisse

Dieser Abschnitt beginnt mit einer Einzelbetrachtung aller Flüge, die im Rahmen dieser Feldstudie durchgeführt wurden. Die technisch-meteorologischen Rahmenbedingungen, das geplante und das ausgeführte Flugvorhaben werden stichwortartig charakterisiert. Außerdem werden die Ergebnisse der physiologischen und psychologischen Untersuchungen skizziert und kurz kommentiert.

Anschließend geben wir eine Synopsis des Herzfrequenzverhaltens aller Piloten sowohl für die einzelnen Flugphasen als auch für den Flugverlauf.

Es folgt eine zusammenfassende Darstellung und Wertung der psychologischen Untersuchungen.

Schließlich wird beispielhaft auf die erstellten Flugprotokolle eingegangen werden.

4.1. Einzelfallbetrachtung der Flüge

Flug Nr. 1

Datum: 26.5.1982

Pilot: A Alter: 25 Jahre

Gesamtflugstunden: ca. 960 Stunden

Flugzeit letzte 90 Tage: 10 Stunden

Wetter um 14.00 Uhr MEZ:

Windrichtung/-stärke: 130°/7 km/h Lufttemperatur: 23,3°C

Bodensicht: 25 km reduziert auf Meereshöhe

Bedeckungsgrad und Wolkenart: wolkenlos Luftdruck: 1022 mb

Thermik: mäßige, zer-
risse Blau-
thermik

Flugvorhaben: 100 km Zielfrückkehrflug

Ausgeführter Flug, Dauer: 100 Minuten Distanz: 80 km

Befindensrating und Leistungstests

Befindensrating Leistungstests	vor dem Flug Zeit [s]/Fehler		nach dem Flug Zeit [s]/Fehler		Differenz Zeit [s]/Fehler	
Befindensrating	118		115		3	
Stroop-Test	180	1	110	0	70	1
Rechentest	202	4	215	1	- 13	3

Befinden im Flugverlauf: nach Flugdauer [h] 1

Self-rating 15

Charakterisierung durch den Piloten:

- technisch-meteorologisch: schwierige Thermik
- körperliche Belastung: belastend.

Cockpitttemperatur im Mittel: 25,6°C

zu Flug 1:

Die Ausklinkhöhe von 750 m nach einem 6minütigen Flugzeugschleppstart wird für ca. 30 Minuten überstiegen mit einer Maximalhöhe von 960 m. Nach knapp einstündiger Flugdauer steht fest, daß das geplante Flugvorhaben aus meteorologischen Gründen nicht ausgeführt werden kann. Das Ziel besteht nunmehr in Erreichen des Startflugplatzes, was schließlich gelingt. In den letzten 40 Minuten des Fluges wird eine Flughöhe von 550 m nicht mehr überschritten.

Die Herzfrequenz zeigt einen typischen doppelgipfligen Verlauf mit Minima in den Ruhephasen vor dem Start und nach der Landung, Maxima bei Start und Landung um 120 Schläge pro Minute. Während des Fluges kommt es zu einem weiteren Maximum von etwa 120 Schlägen pro Minute in der Phase, in der der Versuch, eine Höhe von etwa 900 m zu halten, endgültig mißlingt. Von diesem Zeitpunkt an kommt es zu einem steten Absinken der jeweils über ein 10-Minuten-Intervall berechneten Mittelwerte von 109 auf 85 Schläge pro Minute.

Die psychologischen Untersuchungen ergeben keinen Hinweis auf Ermüdung oder eingeschränkte Leistungsfähigkeit.

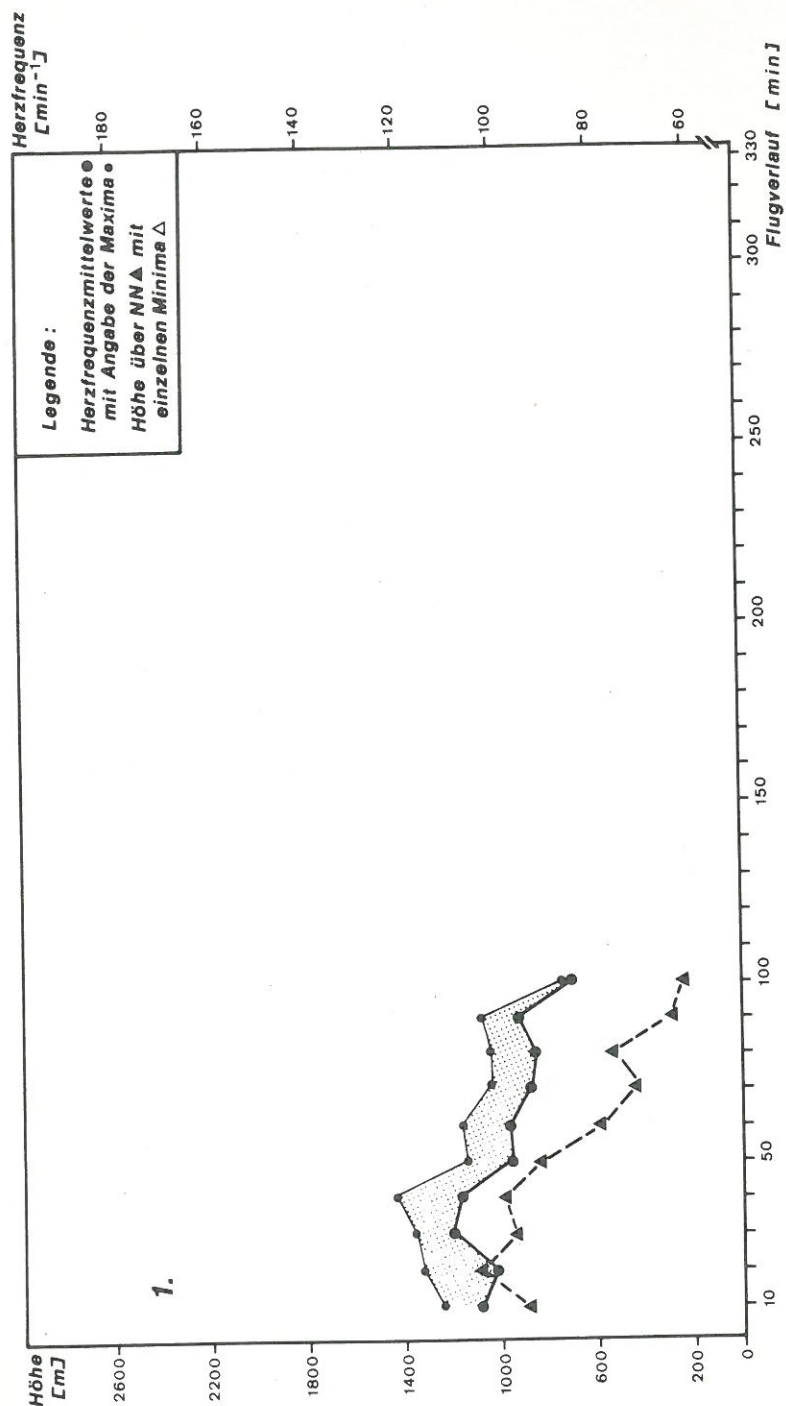


Abb. 1 : Höhe und Herzfrequenzverhalten im Flugverlauf. Berechnung aus in 10minütige Flugphasen zusammengefaßten Intervallen.
 Flug 1.

Flug Nr.: 2

Datum: 27.5.1982

Pilot: B Alter: 35 Jahre

Gesamtflugstunden: ca. 1000 Stunden

Flugzeit letzte 90 Tage: 10 Stunden

Wetter um 14.00 Uhr MEZ:

Windrichtung/-stärke: 140°/7 km/h Lufttemperatur: 25,7°C

Bodensicht: 20 km Luftdruck: 1014 mb

Bedeckungsgrad und Wolkenart: wolkenlos

Thermik: gut

Flugvorhaben: 300 km Dreiecksflug

Ausgeführter Flug, Dauer: 260 Minuten Distanz: 275 km

Befindensrating und Leistungstests

	vor dem Flug		nach dem Flug		Differenz	
Befindensrating	Zeit [s]/Fehler		Zeit [s]/Fehler		Zeit [s]/Fehler	
Befindensrating	107		161		- 54	
Stroop-Test	185	7	166	3	19	4
Rechentest	282	2	277	1	5	1

Befinden im Flugverlauf:	nach Flugdauer [h]	1	2	3	4
	Self-rating	14	20	16	15

Charakterisierung durch den Piloten:

- technisch-meteorologisch: mittel
- körperliche Belastung: unbelastend, Durst

Cockpittemperatur im Mittel: 26,8°C

zu Flug 2:

Es erfolgt ein Flugzeugschleppstart über 11 Minuten bis auf eine Höhe von 1160 m. Diese Höhe kann zunächst nicht gehalten werden. In den folgenden 45 Minuten erfolgt ein Höhenverlust bis auf 350 m. Der Pilot reagiert mit einem Anstieg der Herzfrequenzmaxima von um 88 auf um 98 Schläge pro Minute. Der Mittelwert ändert sich dabei nur geringfügig von etwa 83 auf etwa 86 Schläge pro Minute. Anschließend problemloser Flug in sicheren Höhen bis 1250 m für etwa 1 Stunde. Etwa 2 Stunden und 10 Minuten nach dem Ausklinken vom Schleppflugzeug sind alle Höhenreserven verbraucht. Man befindet sich in einer Höhe von weniger als 150 m über einem buckeligen, von Wassergräben durchzogenen Heidegelände, welches für eine Außenlandung absolut ungeeignet erscheint. Ein Flugplatz oder sonstiges geeignetes Landegelande liegt außerhalb der Reichweite. Diese Situation dauert fast 10 Minuten lang an. Der Pilot reagiert mit durchschnittlichen Herzfrequenzen um 104 pro Minute, in der Spitze bis 132 pro Minute. Buchstäblich in letzter Minute wird ein Aufwindfeld entdeckt, der das Flugzeug wieder auf eine Höhe von 1200m bringt. Im weiteren Verlauf des Fluges bewegt man sich ständig in Höhen zwischen 1000 und 1600 Metern. Die Herzfrequenz bleibt im Mittel zwischen 82 - 88 pro Minute mit Maximalwerten um 98 pro Minute.

Beim self-rating im Flugverlauf fällt eine Verbesserung um 5 Punkte nach der zweiten Flugstunde auf, später erfolgt wieder eine Abnahme bis knapp über den Ausgangswert. Die Bewertungszahl zur Ermüdungseinschätzung ist nach dem Flug erstaunlicherweise um 54 Punkte und damit deutlich höher als der Vorflugwert. Auf Befragen wies der Pilot auf ein bestehendes Schlafdefizit von etwa 2 Stunden hin. Er habe sich tatsächlich im Verlauf des Fluges erholt und sich hinterher keineswegs müde gefühlt.

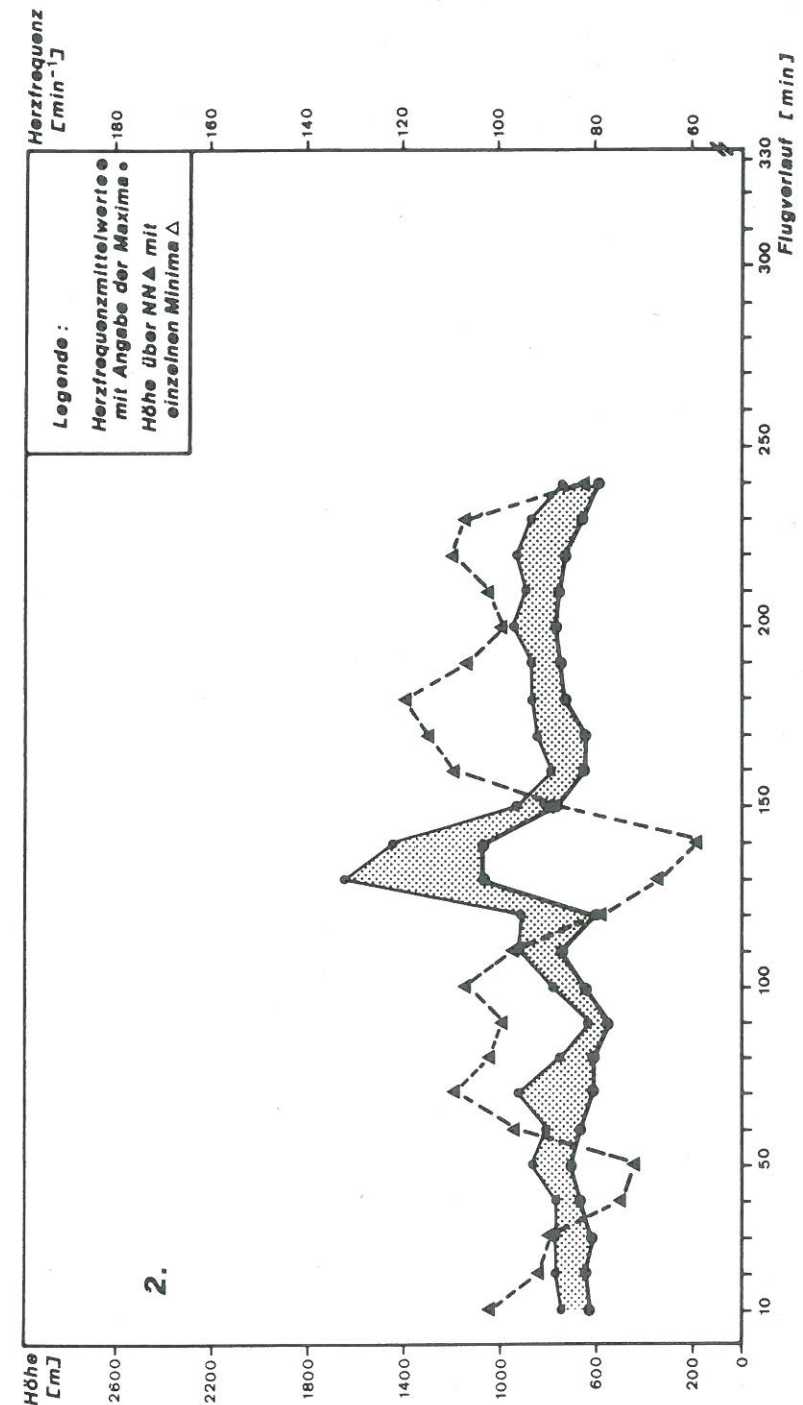


Abb. 2 : Höhe und Herzfrequenzverhalten im Flugverlauf. Berechnung aus in 10minütige Flugphasen zusammengefaßten Intervallen. Flug 2.

Flug Nr.: 3

Datum: 29.5.1982

Pilot: B Alter: 35 Jahre

Gesamtflugstunden: ca. 1000 Stunden

Flugzeit letzte 90 Tage: 15 Stunden

Wetter um 14.00 Uhr MEZ:

Windrichtung/-stärke: 350°/7 km/h Lufttemperatur: 16,0°C

Bodensicht: 25 km reduziert auf Meereshöhe
Luftdruck: 1030 mb

Bedeckungsgrad und Wolkenart: 618 CV

Hauptwolkenuntergrenze: 1000 m, Thermik: gut
später ansteigend

Flugvorhaben: 260 km Zielrückkehrflug

Ausgeführter Flug, Dauer: 344 Minuten Distanz: 260 km

Befindensrating und Leistungstests

Befindensrating Leistungstests	vor dem Flug Zeit [s] / Fehler		nach dem Flug Zeit [s] / Fehler		Differenz Zeit [s] / Fehler	
Befindensrating	159		55		104	
Stroop-Test	138	0	151	1	- 13	- 1
Rechentest	224	0	198	2	26	- 2

Befinden im Flugverlauf:	nach Flugdauer [h]	1	2	3	4	5
	Self-rating	15	10	9	9	5

Charakterisierung durch den Piloten:

- technisch-meteorologisch: leicht
- körperliche Belastung: ermüdend, Nackenmuskelverspannungen

Cockpittemperatur im Mittel: 20,2°C

zu Flug 3:

Dieser zweite Flug des Piloten B ist charakterisiert durch ähnliche Herzfrequenzmittelwerte zwischen 82 und 92 pro Minute, jedoch finden sich Maxima bis 124 pro Minute, selbst in Flughöhen, in denen keine Außenlandefahr besteht. Die aufgezeichneten Werte für die Vertikalgeschwindigkeit schwanken auffällig stark zwischen - 4 und + 3 m/s. Nach 1 1/2 Flugstunden kommt es zu einem Außenlandrisiko in einer Höhe von 235 m mit einem Anstieg der Herzfrequenz auf 107 pro Minute im Mittel und 140 pro Minute in der Spitze. Obwohl die Gefahrensituation schnell bereinigt ist, kommt es in den folgenden 40 Minuten mehrfach zu ähnlich hohen Spitzenfrequenzen. Im Vergleich zum vorherigen Flug scheint der Pilot mit einer etwas labilen Herzfrequenz zu reagieren.

Dieser durch den Piloten als ermüdend bezeichnete Flug findet einen entsprechenden Niederschlag im Befindensrating, auch deutlich im Flugverlauf mit einer jeweils deutlichen Verschlechterung nach der 2. und der 5. Flugstunde. Von einem Einbruch bei den Leistungstests kann jedoch keine Rede sein, wir beobachteten eine nur geringfügige Zunahme der Fehlerzahl.

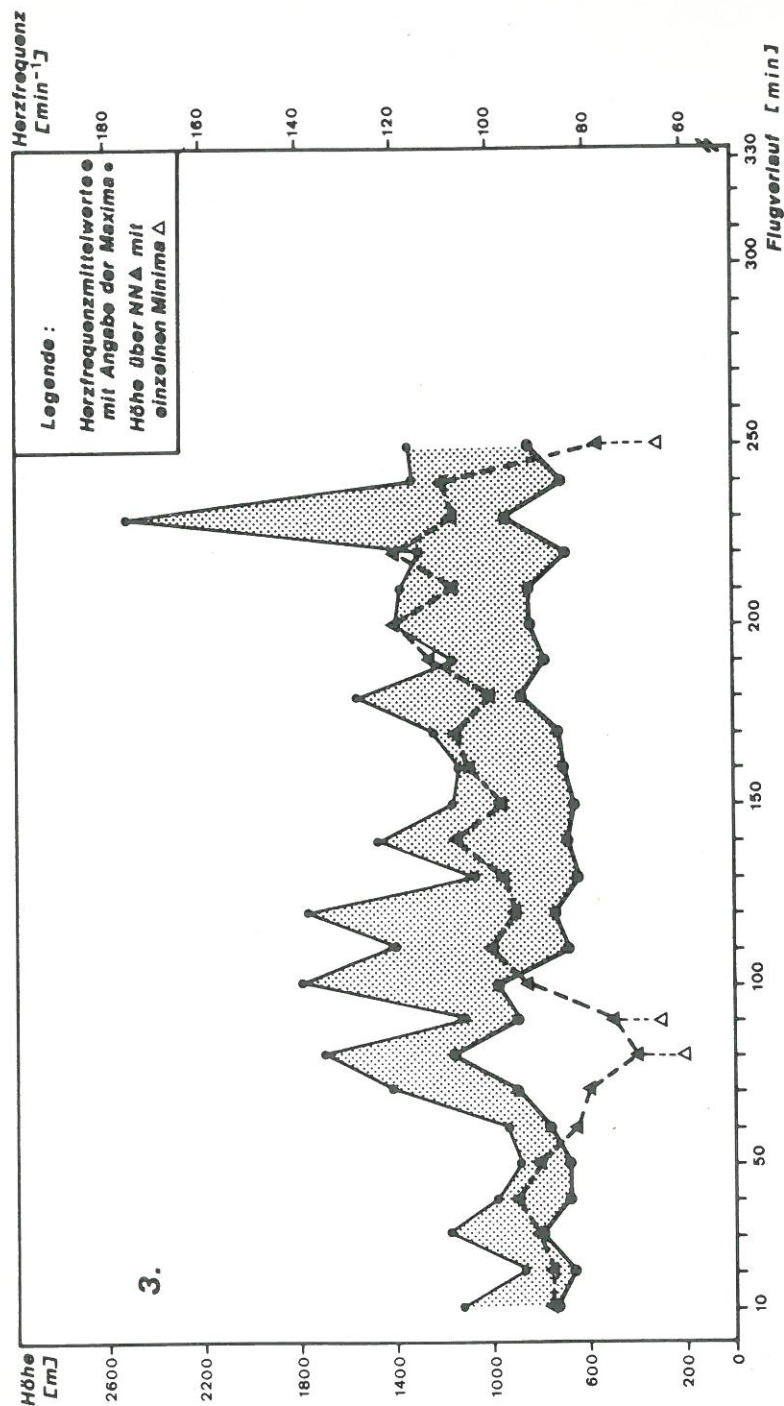


Abb. 3 : Höhe und Herzfrequenzverhalten im Flugverlauf. Berechnung aus in 10minütige Flugphasen zusammengefaßten Intervallen. Flug 3.

Flug Nr.: 4

Datum: 30.5.1982

Pilot: C Alter: 43 Jahre

Gesamtflugstunden: ca. 5.500, davon Segel-
flug 800

Flugzeit letzte 90 Tage: kein Segelflug

Wetter um 14.00 Uhr MEZ:

Windrichtung/-stärke: 110°/11 km/h Lufttemperatur: 19,2°C

Bodensicht: 35 km Luftdruck: 1031 mb

Bedeckungsgrad und Wolkenart: 3/8 Cirren Thermik: mäßig und
zerrissen

Hauptwolkenuntergrenze: 2.500 m

Flugvorhaben: Langzeitflug, Streckenflug nicht möglich

Ausgeführter Flug, Dauer: 370 Minuten Distanz: entfällt

Befindensrating und Leistungstests

Befindensrating Leistungstests	vor dem Flug Zeit [s] / Fehler		nach dem Flug Zeit [s] / Fehler		Differenz Zeit [s] / Fehler	
Befindensrating	146		104		42	
Stroop-Test	110	6	75	0	35	6
Rechentest	189	3	165	4	24	- 1

Befinden im Flugverlauf:	nach Flugdauer [h]	1	2	3	4	5	6
	Self-rating	13	13	14	13	12	11

Charakterisierung durch den Piloten:

- technisch-meteorologisch: leicht
- körperliche Belastung: unbelastend, Hunger- und Durstgefühle

Cockpittemperatur im Mittel: 21,3°C

zu Flug 4:

An diesem Tag herrschten nur in der engeren Umgebung und östlich des Flugplatzes über dem Luftraum der DDR gute Wetterbedingungen. So entschließt sich der Pilot von vornherein zu einem Langzeitflug. Während des Starts kommt es zu einer Erhöhung der Herzfrequenz in der Vorstartphase von durchschnittlich 80 Schläge pro Minute auf 112 pro Minute. In der folgenden Stunde sinken die Durchschnittswerte für die Herzfrequenz kontinuierlich bis auf Werte um 85 pro Minute ab bei Flughöhen zwischen 800 - 1200 m. In dieser Phase finden sich Maximalwerte bis 109 pro Minute. Nach einer Flugzeit von fast 4 Stunden kommt es während der Abnahme der Flughöhe bis auf 410 Meter zu einer Zunahme der durchschnittlichen Herzfrequenz auf 101 pro Minute, bis 120 pro Minute in der Spitze. Nach Bereinigung der Situation mit einem Aufstieg bis auf 1400 m Beruhigung der Herzfrequenz mit Werten um 85 pro Minute. Während der letzten 20 Minuten dieses mehr als 6-stündigen Fluges steigen in Höhen um 260 m die Herzfrequenzmittelwerte auf Werte um 112 pro Minute, das Herzfrequenzmaximum beträgt 125 pro Minute.

Das Befinden während des Flugverlaufs ändert sich nur unwesentlich. Beim Vergleich des Befindensratings zeigt sich nach dem Flug gegenüber den Werten vor dem Flug eine Einbuße von etwa 30 %. Anhaltspunkte für eine verschlechterte Leistungsfähigkeit gibt es nicht.

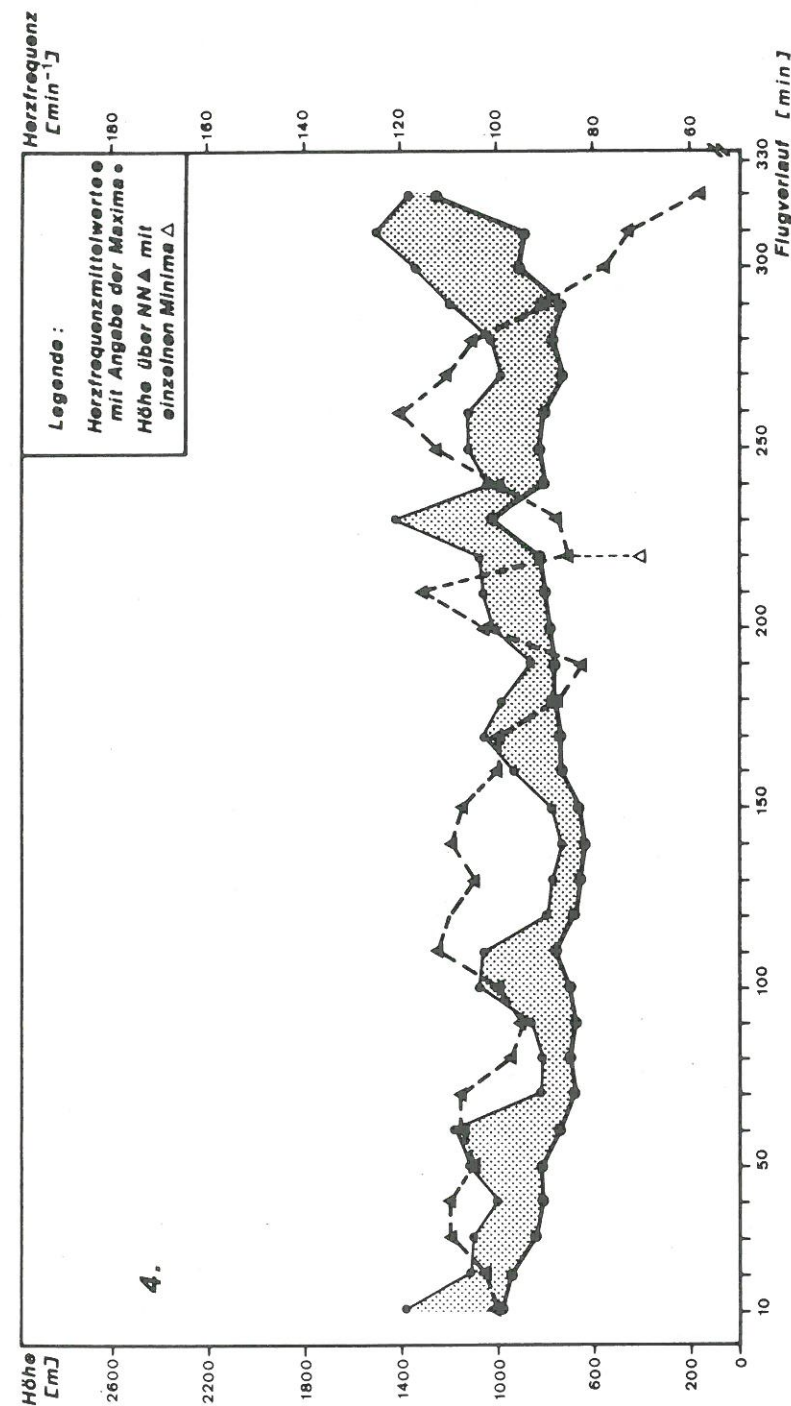


Abb. 4 : Höhe und Herzfrequenzverhalten im Flugverlauf. Berechnung aus in 10minütige Flugphasen zusammengefaßten Intervallen. Flug 4.

Flug Nr.: 5

Datum: 31.5.1982

Pilot: D Alter: 26 Jahre
Gesamtflugstunden: ca. 160 Stunden
Flugzeit letzte 90 Tage: 30 Stunden

Wetter um 14.00 Uhr MEZ:

Windrichtung/-stärke: 120°/9 km/h Lufttemperatur: 23,4°C

Bodensicht: 25 km Luftdruck: 1026 mb

Bedeckungsgrad und Wolkenart: wolkenlos

Thermik: mäßig zerrissene
Blauthermik

Flugvorhaben: 50 km Zielrückkehrflug

Ausgeführter Flug, Dauer: 73 Minuten Distanz: ca. 20 km

Befindensrating und Leistungstests

Befindensrating Leistungstests	vor dem Flug Zeit [s] / Fehler		nach dem Flug Zeit [s] / Fehler		Differenz Zeit [s] / Fehler	
Befindensrating	78		89		- 11	
Stroop-Test	118	2	128	1	- 10	1
Rechentest	216	2	184	2	32	0

Befinden im Flugverlauf: nicht durchführbar

Charakterisierung durch den Piloten:

- technisch-meteorologisch: schwierig
- körperliche Belastung: belastend

Cockpittemperatur im Mittel: 25,3°C

zu Flug 5:

Bei der Betrachtung dieses Fluges fallen die hohe Ruhefrequenz von 101 pro Minute sowie auch hohe Durchschnitts- und Spitzenherzfrequenzen während des Fluges auf. Während der ersten 45 Flugminuten ermäßigt sich die Herzfrequenz stetig von Herzfrequenzmaximum 112 pro Minute auf 106 pro Minute. Nach frühzeitiger Entfernung aus dem Gleitmittelbereich des Flugplatzes ist es in der Flugphase 6 fraglich, ob das rettende Flugfeld wieder erreicht werden kann. Dies manifestiert sich in einer Steigerung der Herzfrequenz auf 125 pro Minute bis zu einem Maximum von 143 pro Minute. Bei der Landung gibt es eine Komplikation, die leicht zu einem größeren Schaden am Flugzeug sowie zu Verletzungen hätte führen können: ein Ringelpitz. Dabei bekommt eines der beiden Flugflächenenden vorzeitig Bodenkontakt. Es folgt eine Drehung in die Hochachse des Flugzeuges, möglicherweise Überschlag und Abbruch des Schwanzteiles. In unserem speziellen Fall entsteht kein Schaden. Wir beobachteten jedoch eine Herzfrequenzsteigerung bis durchschnittlich 155 pro Minute und 166 pro Minute in der Spitze. Auch in der nachfolgenden Ruhephase von etwa 15 Minuten Dauer sinkt die Frequenz nur langsam bis auf Werte um 85 pro Minute ab.

Weder im Befindensrating noch in den Leistungstests zeigen sich bemerkenswerte Veränderungen.

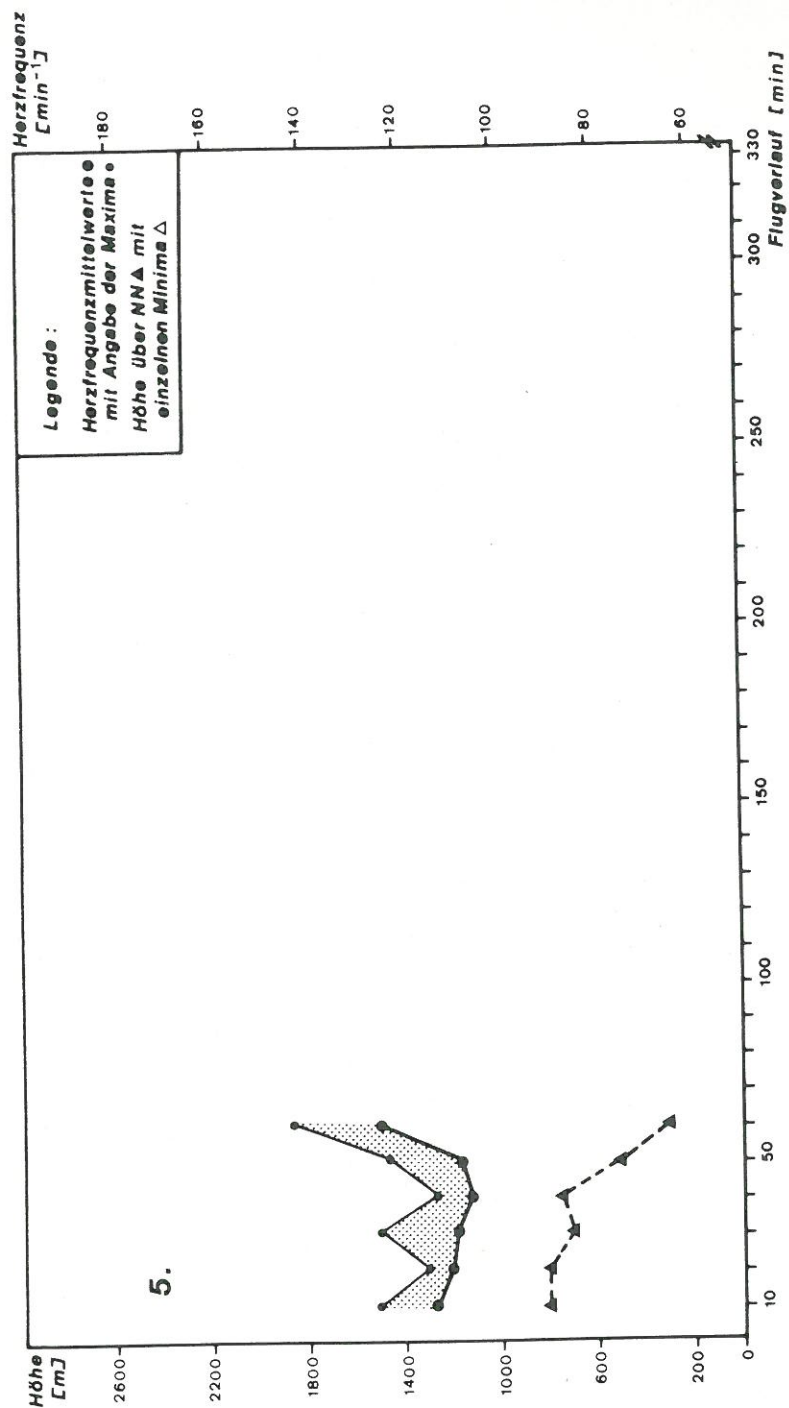


Abb. 5 : Höhe und Herzfrequenzverhalten im Flugverlauf. Berechnung aus in 10minütige Flugphasen zusammengefaßten Intervallen. Flug 5.

Flug Nr.: 6

Datum: 1.6.1982

Pilot: E Alter: 21 Jahre

Gesamtflugstunden: ca. 270 Stunden

Flugzeit letzte 90 Tage: 70 Stunden

Wetter um 14.00 Uhr MEZ:

Windrichtung/-stärke: 270°/6 km/h Lufttemperatur: 27,3°C

Bodensicht: 18 km Luftdruck: 1024 mb

Bedeckungsgrad u. Wolkenart: 218 Cu, Alto-Cu Thermik: gut

Hauptwolkenuntergrenze: 1.500 - 2.000 m

Flugvorhaben: 200 km Dreiecksflug

Ausgeführter Flug, Dauer: 259 Minuten Distanz: ca. 40 km

Befindensrating und Leistungstests

Befindensrating Leistungstests	vor dem Flug Zeit [s] / Fehler		nach dem Flug Zeit [s] / Fehler		Differenz Zeit [s] / Fehler	
Befindensrating	85		100		- 15	
Stroop-Test	170	5	168	6	2	- 1
Rechentest	302	3	299	4	3	- 1

Befinden im Flugverlauf:	nach Flugdauer [h]	1	2	3	4
	Self-rating	10	9	10	6

Charakterisierung durch den Piloten:

- technisch-meteorologisch: schwierig
- körperliche Belastung: ermüdend, Hunger und Durst

Cockpittemperatur im Mittel: 26.3°C

zu Flug 6:

Auch dieser Pilot scheint bei Betrachtung der Herzfrequenz in der Vorstartphase von 102 pro Minute unter einer großen Erwartungsspannung zu stehen. Beim Start kommt es zu einer Maximalfrequenz von 150 pro Minute. Eine geringfügig niedrigere Frequenz wird mit 140 pro Minute in der Spitze, mit 125 pro Minute im Mittel die gleiche Frequenz bei der Landung erreicht. Der Wegfall der Erwartungsspannung kommt in einer mittleren Herzfrequenz von 84 pro Minute in der Ruhephase nach der Landung zum Ausdruck. Im Flugverlauf nimmt die Herzfrequenz über etwas mehr als zwei Flugstunden um 115 pro Minute auf um 95 pro Minute ab. Die Gefahr einer vorzeitigen Landung auf einem Flugplatz mit Höhe unter 170 m bringt einen nur kurzzeitigen Anstieg der Herzfrequenz auf 110 pro Minute und 126 pro Minute in der Spitze.

Das Befinden während des Flugverlaufs zeigt einen deutlichen Einbruch nach der vierten Flugstunde, findet aber keinen Niederschlag im Befindensrating noch gegenüber vor dem Fluge. Nach diesem vom Piloten als ermüdend charakterisierten Flug kommt es zu einer Zunahme um jeweils einen Fehler in den Leistungstests.

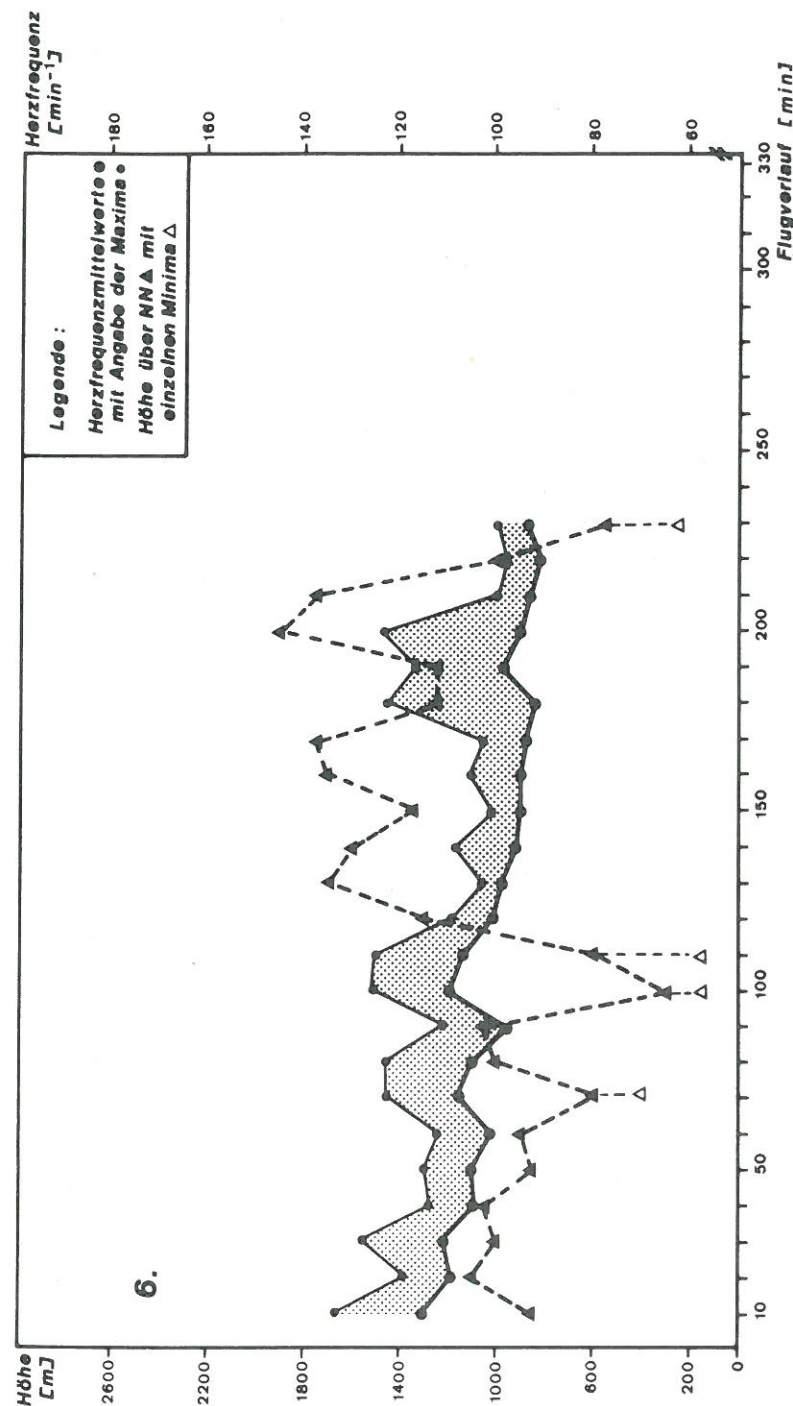


Abb. 6 : Höhe und Herzfrequenzverhalten im Flugverlauf. Berechnung aus in 10minütige Flugphasen zusammengefaßten Intervallen. Flug 6.

Flug Nr.: 7

Datum: 2.6.1982

Pilot: A Alter: 25 Jahre

Gesamtflugstunden: ca. 960 Stunden

Flugzeit letzte 90 Tage: 15 Stunden

Wetter um 14.00 Uhr MEZ:

Windrichtung/-stärke: 90°/9 km/h Lufttemperatur: 29,5°C

Bodensicht: 15 km Luftdruck: 1021 mb

Bedeckungsgrad u. Wolkenart: 1/8 Cv Thermik: hervorragend

Hauptwolkenuntergrenze: 1.500 - 2.000 m

Flugvorhaben: 300 km Dreiecksflug

Ausgeführter Flug, Dauer: 335 Minuten Distanz: 300 km

Befindensrating und Leistungstests

Befindensrating Leistungstests	vor dem Flug Zeit [s] / Fehler		nach dem Flug Zeit [s] / Fehler		Differenz Zeit [s] / Fehler	
Befindensrating	151		94		57	
Stroop-Test	102	2	97	0	5	2
Rechentest	178	1	163	0	15	1

Befinden im Flugverlauf:	nach Flugdauer	[h]	1	2	3	4	5
	Self-rating		15	15	15	13	13

Charakterisierung durch den Piloten:

- technisch-meteorologisch: mittel
- körperliche Belastung: belastend, Muskelverspannungen linkes Knie

Cockpittemperatur im Mittel: 27,9°C

zu Flug 7:

Wie auch beim ersten Flug dieses Piloten (Flug 1) weisen die Herzfrequenzen in den Ruhephasen vor dem Start und nach der Landung, während des Startvorganges und während der Landung keine besonderen Auffälligkeiten auf. Während der ersten Flugstunde wird eine Höhe von 550 Metern nur ausnahmsweise überschritten, ständig droht die Gefahr der unfreiwilligen Landung auf dem Startflugplatz. Wir beobachteten über 30 Minuten Durchschnittsherzfrequenzen von 122 pro Minute, 131 pro Minute als Maximum. In den danach erreichten Höhen zwischen 1300 m und 2200 m wird die Thermik im Flugverlauf zunehmend besser, unterhalb 1000 m jedoch recht schwach. Während der 2. und 3. Flugstunde stetiges Absinken der durchschnittlichen Herzfrequenz bis um 95 pro Minute, in der 5. und 6. Stunde bis auf Werte von 90 pro Minute. In der 4. Stunde kommt es bei bereits nachlassender Thermik mehrfach zum Unterschreiten des optimalen Höhenbereichs, gleichzeitig zum Anstieg der mittleren Herzfrequenz bis 102 pro Minute, Spitzen bis 113 pro Minute.

Das Befinden während des Fluges ändert sich nur unwesentlich, das Befindensrating nach dem Fluge ergibt Einbußen um 30 %. Die Leistungstests enthielten kein verschlechtertes Leistungsniveau.

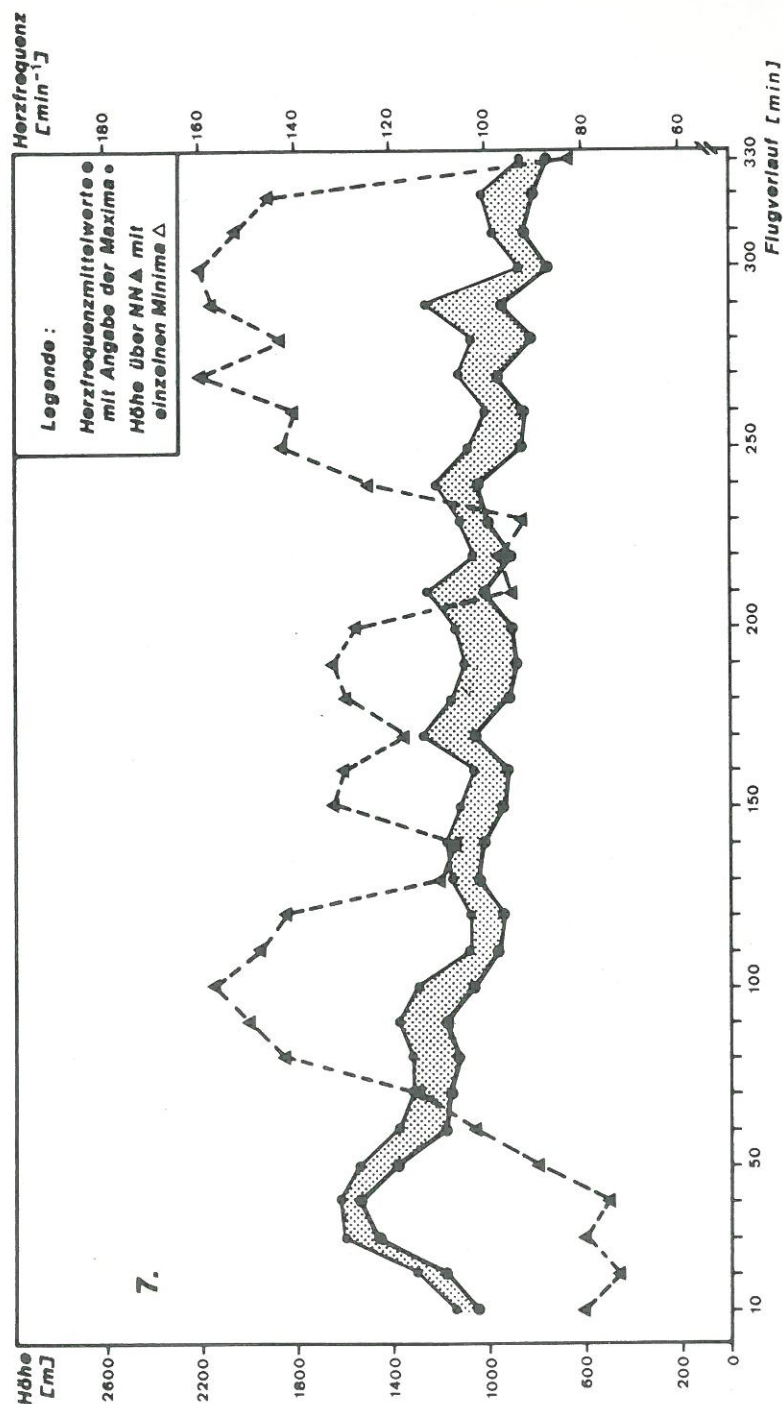


Abb. 7 : Höhe und Herzfrequenzverhalten im Flugverlauf. Berechnung aus in 10minütige Flugphasen zusammengefaßten Intervallen. Flug 7.

Flug Nr.: 8₁ und 8₂

Datum: 3.6.1982

Pilot: F Alter: 27 Jahre

Gesamtflugstunden: ca. 300 Stunden

Flugzeit letzte 90 Tage: 60 Stunden

Wetter um 14.00 Uhr MEZ:

Windrichtung/-stärke: 120°/5 km/h Lufttemperatur: 30,2°C

Bodensicht: 20 km Luftdruck: 1018 mb

Bedeckungsgrad und Wolkenart: wolkenlos Thermik: gut

Flugvorhaben: 300 km Dreiecksflug

Ausgeführter Flug, Dauer: 1. 164 Minuten Distanz: 1. 210 km
 2. 42 Minuten 2. 90 km

Befindensrating und Leistungstests

Befindensrating Leistungstests	vor dem Flug Zeit [s]/Fehler		nach dem Flug Zeit [s]/Fehler		Differenz Zeit [s]/Fehler	
Befindensrating	121		123		- 2	
Stroop-Test	170	6	157	5	13	1
Rechentest	408	2	317	2	91	0

Befinden im Flugverlauf:	nach Flugdauer [h]	1	2
	Self-rating	11	14

Charakterisierung durch den Piloten:

- technisch-meteorologisch: schwierig
- körperliche Belastung: unbelastend

Cockpittemperatur im Mittel: 24,6°C

zu Flug 8₁ und 8₂:

Nach einer mittleren Herzfrequenz von 91 pro Minute in der Vorstartphase kommt es während des ersten Starts zu einer Steigerung auf 115 pro Minute im Mittel, 148 pro Minute in der Spitze. Während der ersten Flugstunde stetiger Abfall der mittleren Herzfrequenz auf Werte um 86 pro Minute. Nachdem nach einer Flugzeit von 2 1/2 Stunden in sicheren Höhen bis 2200 m etwa zwei Drittel der beabsichtigten Flugstrecke zurückgelegt sind, erfolgt eine ungeplante Landung auf einem Flugplatz. Die Herzfrequenz steigt auf 92 pro Minute im Mittel und 100 pro Minute als Maximalwert, bei der Landung auf 98 pro Minute als Mittelwert und 124 pro Minute in der Spitze.

Anschließend erfolgt ein Flugzeugschleppstart bis auf eine Höhe von 1700 m in Richtung Startflugplatz, nach dem Ausklinken ein ruhiger Geradeausgleitflug über die noch verbleibende Distanz von etwa 50 km. Im Geradeausgleitflug wird eine mittlere Herzfrequenz von 80 pro Minute gemessen.

Die mittleren Herzfrequenzen nach den Landungen liegen mit 83 pro Minute bzw. 80 pro Minute jeweils etwa 10 Schläge pro Minute niedriger als in der Vorstartphase.

Die psychologischen Untersuchungen ergaben keinen Hinweis auf wesentliche Änderungen des Befindens oder der Leistungsfähigkeit.

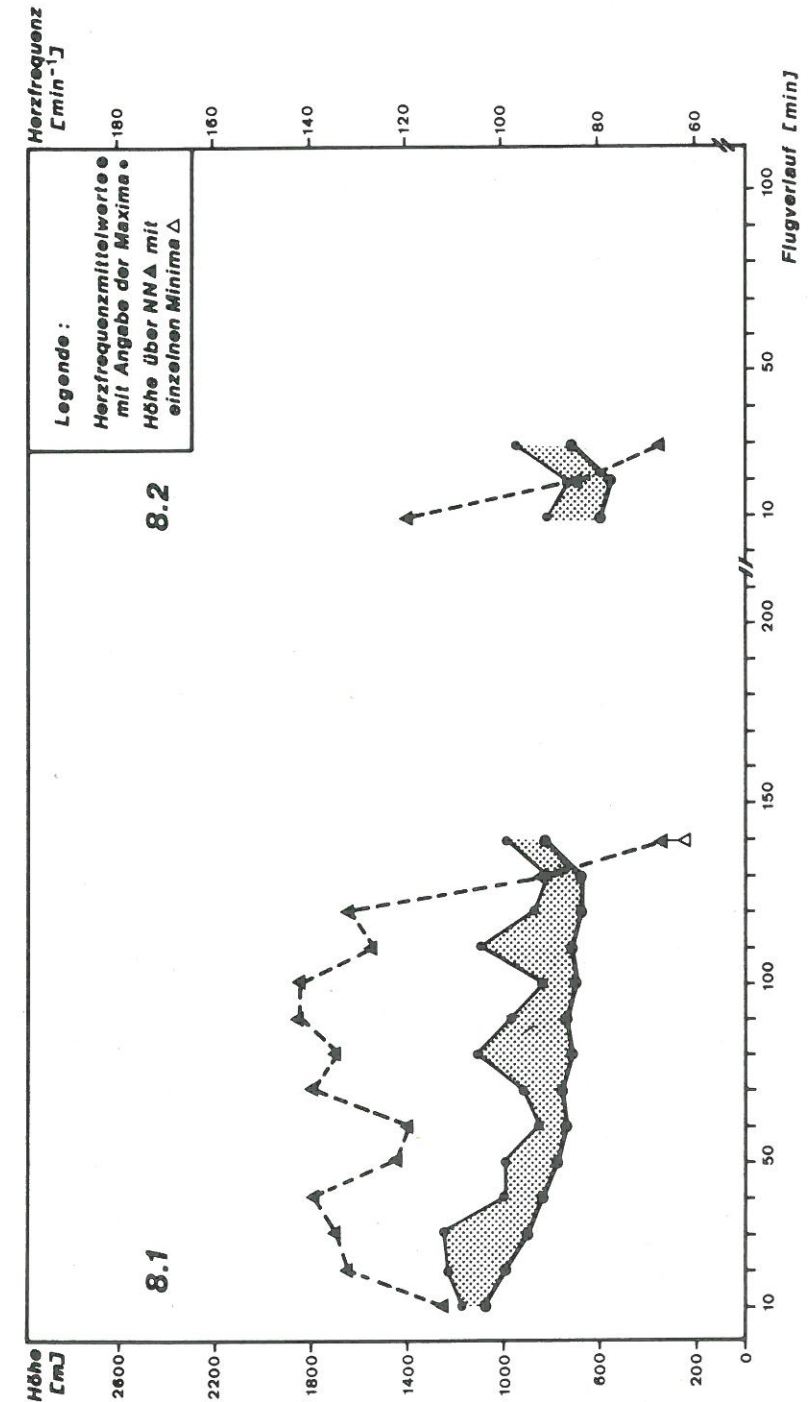


Abb. 8 : Höhe und Herzfrequenzverhalten im Flugverlauf. Berechnung aus in 10minütige Flugphasen zusammengefassten Intervallen. Flüge 8.1 und 8.2

Flug Nr.: 9

Datum: 5.6.1982

Pilot: F Alter: 27 Jahre

Gesamtflugstunden: ca. 300 Stunden

Flugzeit letzte 90 Tage: 65 Stunden

Wetter um 14.00 Uhr MEZ:

Windrichtung/-stärke: 220°/3 km/h Lufttemperatur: 29,8°C

Bodensicht: 12 km Luftdruck: 1017 mb

Bedeckungsgrad u. Wolkenart: 1/8 Cv, Cirren Thermik: schlecht und zerrissen

Hauptwolkenuntergrenze: 1.500 - 2.000 m

Flugvorhaben: Langzeitflug, Streckenflug nicht möglich

Ausgeführter Flug, Dauer: 160 Minuten Distanz: entfällt

Befindensrating und Leistungstests

Befindensrating Leistungstests	vor dem Flug Zeit [s] / Fehler		nach dem Flug Zeit [s] / Fehler		Differenz Zeit [s] / Fehler	
Befindensrating	135		120		15	
Stroop-Test	150	2	145	3	5	- 1
Rechentest	308	0	289	2	30	- 2

Befinden im Flugverlauf: nach Flugdauer [h] 1 2
Self-rating 13 9

Charakterisierung durch den Piloten:

- technisch-meteorologisch: schwierig
- körperliche Belastung: belastend, vor allem Hitzebelastung

Cockpittemperatur im Mittel: 29,6°C

zu Flug 9:

Aufgrund der meteorologischen Bedingungen kommt ein Streckenflug an diesem heißen Tage nicht zustande, es wird ein Langzeitflug versucht.

In der Vorstartphase wird eine mittlere Herzfrequenz von 87 pro Minute, in der Startphase von 97 pro Minute mit einer Spitze um 128 pro Minute gemessen. Aus technischen Gründen liegen die entsprechenden Werte für die Landung sowie die anschließende Ruhephase nicht vor. Zu Beginn des Fluges werden kurzzeitig 1300 m erreicht, im weiteren Verlauf bewegt man sich in Höhen zwischen 600 und 1100 m. Während der ersten Flugstunde bewegt sich die mittlere Herzfrequenz um 91 pro Minute, um in der zweiten Stunde auf Werte um 83 pro Minute abzusinken. Ein Maximalwert von 109 pro Minuten wird auch bei einer Flugzeit von 50 Minuten in einer Höhe von 430 m in Flugplatznähe gemessen.

Der vor allem wegen der Hitze als belastend eingestufte Flug hat sowohl eine im Flugverlauf als auch nach dem Fluge im Vergleich zu der vor dem Fluge abnehmende Bewertungszahl für das Befinden zur Folge. Die Leistungstests zeigen eine geringe Fehlerzunahme von 1 bzw. 2 Fehlern bei in etwa gleichem Zeitaufwand für die gestellten Aufgaben.

Während des Fluges werden im Cockpit in einer Höhe von 900 m Temperaturen zwischen 28,1 und 32,2 Grad Celsius gemessen.

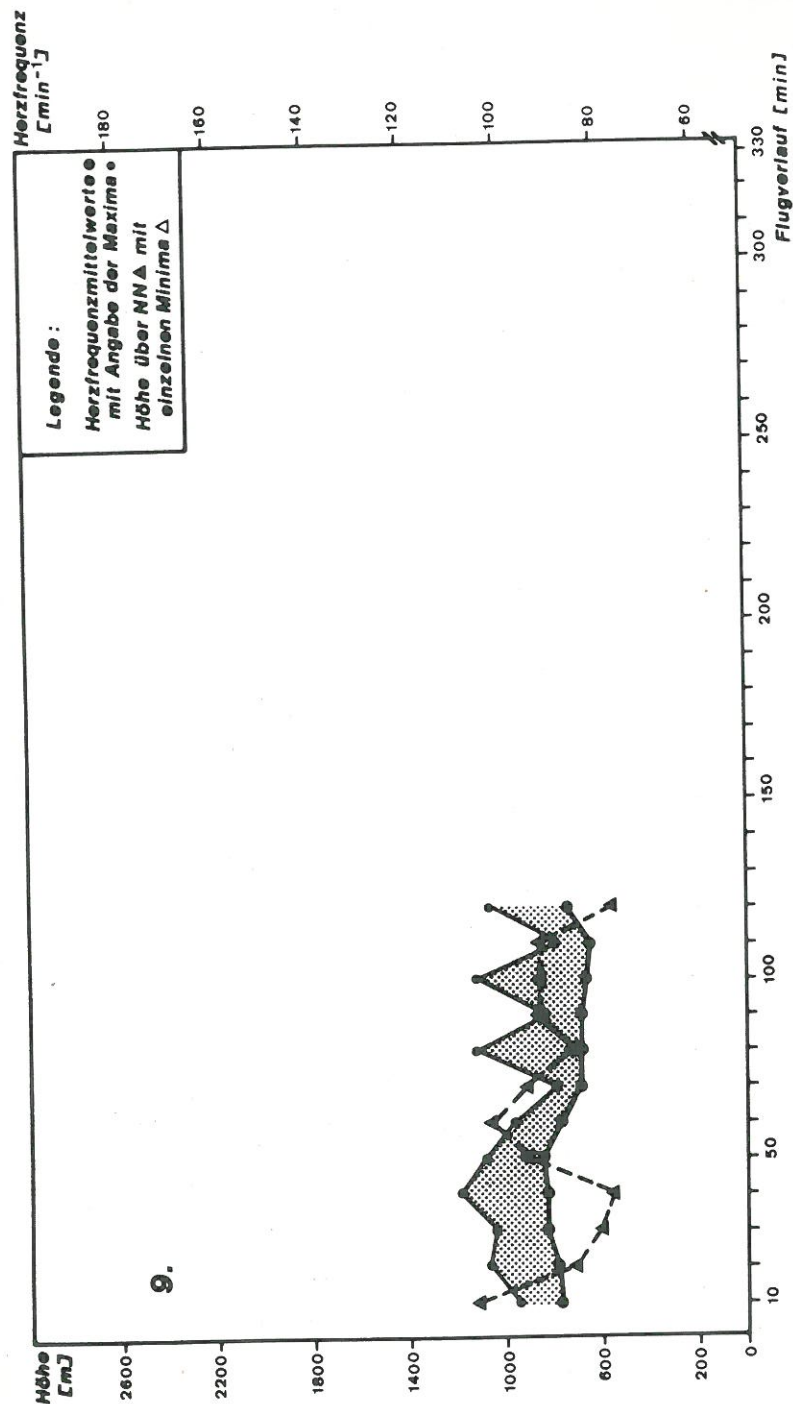


Abb. 9 : Höhe und Herzfrequenzverhalten im Flugverlauf. Berechnung aus in 10minütige Flugphasen zusammengefaßten Intervallen. Flug 9.

Flug Nr.: 10₁ und 10₂

Datum: 8.6.1982

Pilot: G Alter: 39 Jahre

Gesamtflugstunden: ca. 3000, davon Segelflug ca. 1500 Stunden

Flugzeit letzte 90 Tage: 50 Stunden

Wetter um 14.00 Uhr MEZ:

Windrichtung/-stärke: 300°/6 km/h Lufttemperatur: 22,8°C

Bodensicht: 9 km Luftdruck: 1019 mb

Bedeckungsgrad u. Wolkenart: 3/8 Cv Thermik: gut

Hauptwolkenuntergrenze: 1.000 - 1.500 m

Flugvorhaben: 200 km Dreiecksflug

Ausgeführter Flug, Dauer: 1. 180 Minuten Distanz: 1. 160 km
 2. 18 Minuten 2. 40 km

Befindensrating und Leistungstests

Befindensrating Leistungstests	vor dem Flug Zeit [s]/Fehler		nach dem Flug Zeit [s]/Fehler		Differenz Zeit [s]/Fehler	
Befindensrating	133		139		- 6	
Stroop-Test	155	0	140	0	15	0
Rechentest	350	8	210	11	140	- 3

Befinden im Flugverlauf: nach Flugdauer [h] 1 2 3
 Self-rating 11 11 9

Charakterisierung durch den Piloten:

- technisch-meteorologisch: schwierig
- körperliche Belastung: belastend, Hunger

Cockpittemperatur im Mittel: keine Angabe wegen Geräteversagen

zu Flug 10₁ und 10₂:

Beim Start ist eine Herzfrequenzerhöhung im Mittel von 93 pro Minute auf 110 pro Minute sowie 125 pro Minute als Spitzenwert zu beobachten. Der Flug erfolgt in Höhen zwischen 800 m und 1400 m, nach 70 Minuten Flugzeit wird jedoch einmal die Höhe von 650 m unterschritten. In dieser Situation steigt die im übrigen stetig von 106 pro Minute nach dem Ausklinken bis auf 85 pro Minute abnehmende mittlere Herzfrequenz kurzzeitig auf einen Mittelwert von 103 pro Minute und einen Spitzenwert von 135 pro Minute an. Etwa 20 Minuten vor der Landung auf einem auswärtigen Flugfeld steigt die Herzfrequenz in Höhen um 500 m deutlich auf 112 pro Minute, später auf 116 pro Minute als Mittelwerte und einer Frequenzspitze von 155 pro Minute. Während der Landung erfolgt eine nochmalige Steigerung auf 150 pro Minute als Mittelwert und einem Maximum von 161 pro Minute.

Trotz der absinkenden Mittelwerte für die Herzfrequenz im Flugverlauf fällt bei diesem Piloten bei der Betrachtung der Maximalwerte eine gewisse Labilität auf. So finden sich Maximalwerte von 120 bzw. 140 pro Minute ohne entsprechenden disponierenden Faktor im Flugprotokoll. Nach der Landung geht die mittlere Herzfrequenz auf 84 pro Minute zurück. Schließlich erfolgt ein Flugzeugschlepp mit mittleren Herzfrequenzen um 84 pro Minute zurück zum Startflugplatz.

Die Befragungen zum Befinden erbringen eine Verschlechterung um 3 Punkte auf 9 Punkte nach der 3. Flugstunde, es findet sich kein Äquivalent im nach dem Flug stattfindenden Befindensrating. Von den Leistungstests sind beim Rechentest Veränderungen festzustellen: eine um fast 50 % verbesserte Zeit, jedoch eine Zunahme der Fehlerzahl von 8 auf 11.

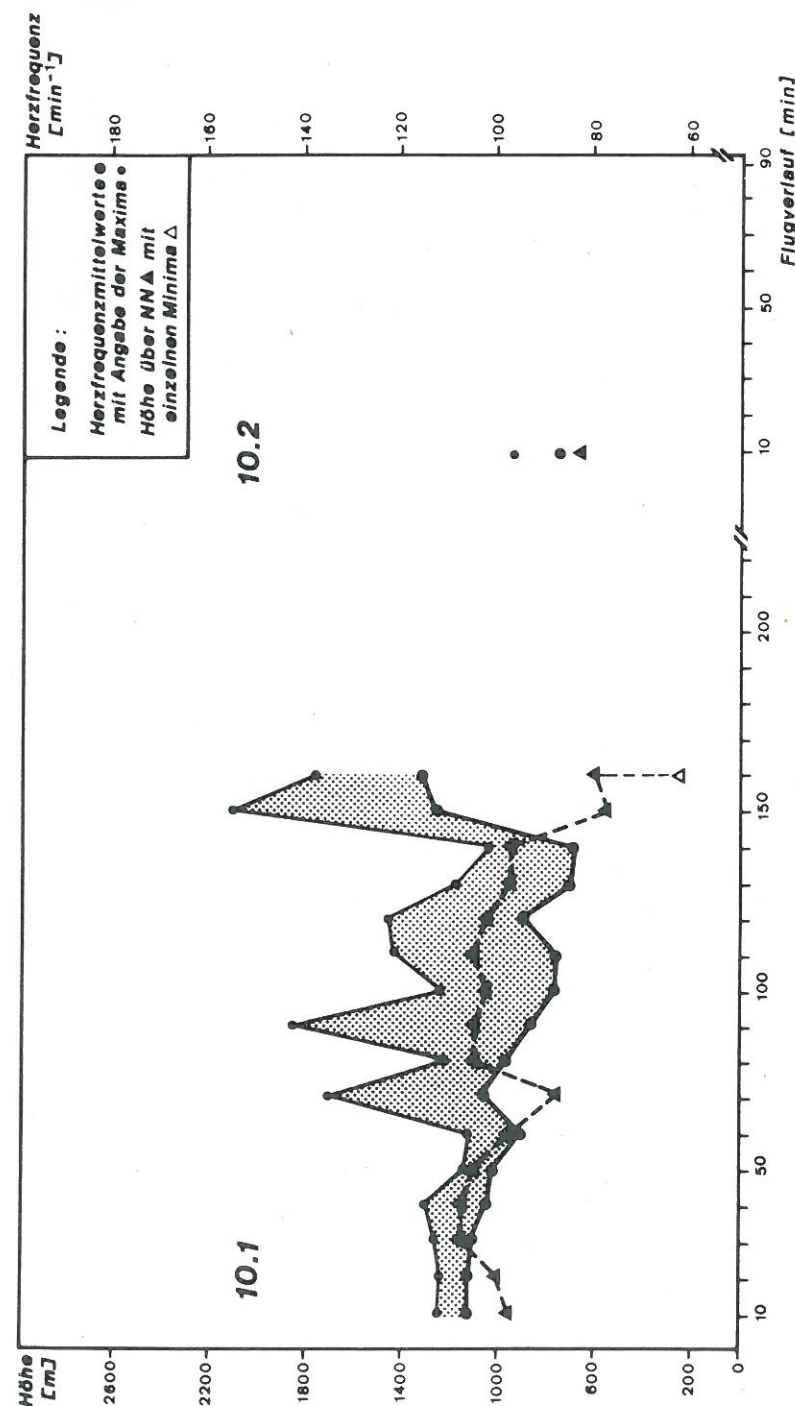


Abb. 10: Höhe und Herzfrequenzverhalten im Flugverlauf. Berechnung aus in 10minütige Flugphasen zusammengefaßten Intervallen. Flüge 10.1 und 10.2

Flug Nr.: 11₁ und 11₂

Datum: 9.6.1982

Pilot: H Alter: 22 Jahre

Gesamtflugstunden: ca. 500 Stunden

Flugzeit letzte 90 Tage: 90 Stunden

Wetter um 14.00 Uhr MEZ:

Windrichtung/-stärke: 320°/8 km/h Lufttemperatur: 15,6°C

Bodensicht: 18 km Luftdruck: 1019 mb

Bedeckungsgrad u. Wolkenart: 8/8 Cv Thermik: mäßig und zerrissen

Hauptwolkenuntergrenze: 600 - 1.000 m

Flugvorhaben: 100 km Zielrückkehrflug

Ausgeführter Flug, Dauer: 1. 61 Minuten Distanz: 1. 40 km
2. 131 Minuten 2. 40 km

Befindensrating und Leistungstests

Befindensrating Leistungstests	vor dem Flug Zeit [s]/Fehler		nach dem Flug Zeit [s]/Fehler		Differenz Zeit [s]/Fehler	
Befindensrating	107		145		- 38	
Stroop-Test	130	1	116	1	14	0
Rechentest	147	2	136	1	11	1

Befinden im Flugverlauf: bei starker Beanspruchung des Piloten
Durchführung unmöglich

Charakterisierung durch den Piloten:

- technisch-meteorologisch: schwierig
- körperliche Belastung: belastend

Cockpittemperatur im Mittel: 19,3°C

zu Flug 11₁ und 11₂:

Diese Flüge müssen von der Seite der technischen Durchführung her als die schwierigsten angesehen werden. Bei nur mäßiger und sehr zerrissener Thermik werden Überlandflüge wegen der niedrigen Hauptwolkenuntergrenze in entsprechend niedriger Flughöhe durchgeführt. Bei beiden Flügen liegt die mittlere Herzfrequenz ständig über 100 pro Minute, vor allem in Höhen um 250 m über 120 pro Minute. Die gemessene Spitzenfrequenz liegt bei 168 pro Minute. Es ist zu berücksichtigen, daß die dem Flughöhenprotokoll entnommenen Höhen in diesem Falle nur die halbe Wahrheit wiedergeben, denn der Pilot kreiste mehrfach in einer Höhe von deutlich weniger als 100 m über Industrieschornsteinen. Der erste Flug wurde durch eine Landung auf einem auswärtigen Flugplatz beendet, von dem aus schon nach wenigen Minuten ein erneuter Start erfolgte. So währte die Ruhephase nur etwa 5 Minuten, während der der Pilot die Ruhfrequenz von im Mittel 93 pro Minute vor dem Start nicht erreichte.

Das Befinden nach den beiden Flügen erscheint verbessert. Die Leistungstests ergeben eine um etwa 10 % verbesserte Leistung bei gleicher Fehlerzahl.

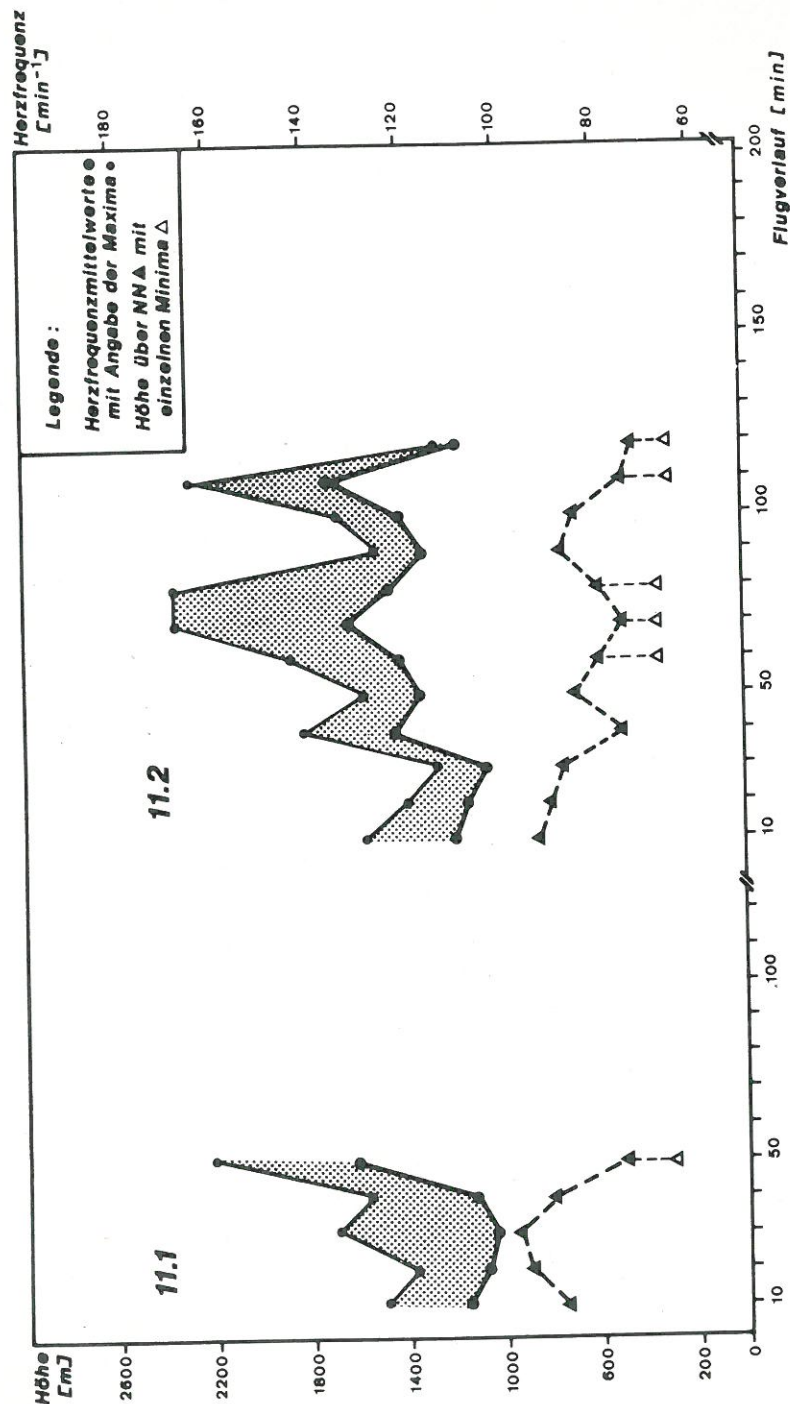


Abb. 11: Höhe und Herzfrequenzverhalten im Flugverlauf. Berechnung aus in 10minütige Flugphasen zusammengefassten Intervallen.
 Flüge 11.1 und 11.2

Flug Nr.: 12₁ und 12₂

Datum: 10.6.1982

Pilot: I Alter: 27 Jahre

Gesamtflugstunden: ca. 250 Stunden

Flugzeit letzte 90 Tage: 25 Stunden

Wetter um 14.00 Uhr MEZ:

Windrichtung/-stärke: 40°/7 km/h Lufttemperatur: 17,8°C

Bodensicht: 20 km Luftdruck: 1018 mb

Bedeckungsgrad u, Wolkenart: 718 Cv Thermik: mäßig

Hauptwolkenuntergrenze: 600 - 1.000 m

Flugvorhaben: kein Streckenflug möglich

Ausgeführte Flüge, Dauer: 1. 35 Minuten Distanz: entfällt
 2. 298 Minuten

Befindensrating und Leistungstests

Befindensrating Leistungstests	vor dem Flug Zeit [s] / Fehler		nach dem Flug Zeit [s] / Fehler		Differenz Zeit [s] / Fehler	
Befindensrating	135		117		18	
Stroop-Test	166	2	171	1	- 5	1
Rechentest	198	5	190	2	8	3

Befinden im Flugverlauf:	nach Flugdauer [h]	1	2	3	4	5
	Self-rating	11	10	7	12	12

Charakterisierung durch den Piloten:

- technisch-meteorologisch: schwierig
- körperliche Belastung: ermüdend, Muskelverspannungen im Nacken

Cockpittemperatur im Mittel: 20,0°C

zu Flug 12₁ und 12₂:

Beim Start zum ersten Flug erhöht sich die mittlere Herzfrequenz von 87 pro Minute auf 124 pro Minute mit einem Maximum von 142 pro Minute. Während der folgenden 30 Minuten bis zur ersten Landung wird kein einziges Aufwindfeld erfolgreich angefliegen, die mittlere Herzfrequenz beträgt während dieser ganzen Zeit um 125 pro Minute mit einer Spitze von 144 pro Minute. Die Landung bringt eine weitere Steigerung auf 134 pro Minute im Mittel und 156 pro Minute als Spitzenfrequenz.

Der Start zum zweiten Flug erbringt ähnliche Frequenzanstiege wie der erste Start. Auch hier droht nach 25 Minuten in einer Höhe von 300 m erneut die Landung. Davon unbeeinflusst kommt es zu einem steten Abfall der mittleren Herzfrequenz in den ersten beiden Flugstunden bis auf etwa 85 pro Minute. Für den Rest des Fluges bleibt es bei diesen Werten mit Maxima von 98 pro Minute. Lediglich unmittelbar vor der Landephase kommt es zu einem erneuten Anstieg der Herzfrequenz im Mittel auf 93 pro Minute und einem Maximum von 121 pro Minute in etwa 250 m Höhe. Bei dieser Landung sind ähnlich hohe Werte wie bei der ersten zu erwarten, in der Ruhephase nach der Landung messen wir einen Mittelwert von 77 pro Minute.

Die Befragungen zum Befinden während des Fluges zeigen eine vorübergehende Verschlechterung von 10 auf 7 Punkte nach der 3. Stunde. Das Befindensrating nach dem Flug zeigt eine Ermäßigung der Bewertungszahl um gut 10 %. Die Leistungstests ergeben keinen Anhalt für eine Leistungsminderung.

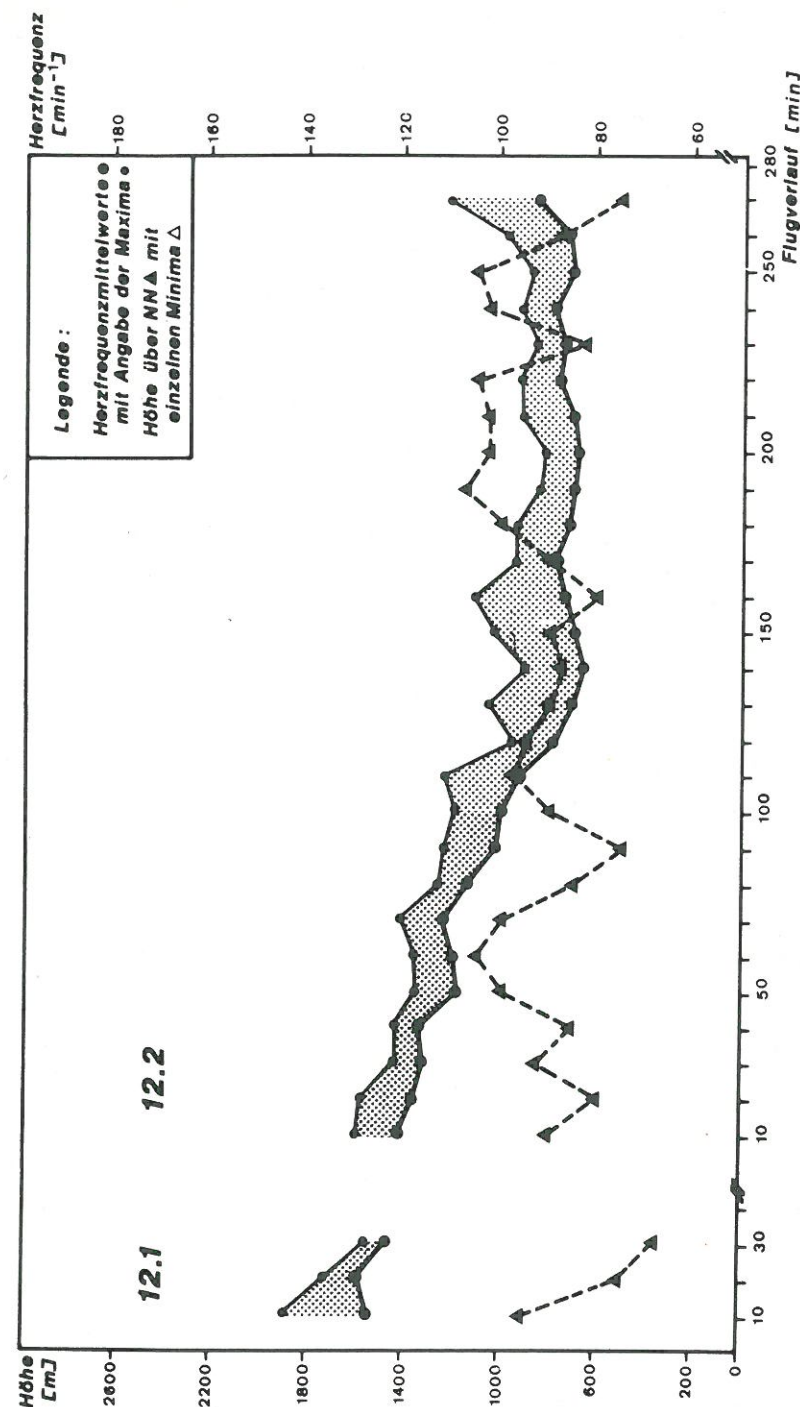


Abb. 12: Höhe und Herzfrequenzverhalten im Flugverlauf. Berechnung aus in 10 minütige Flugphasen zusammengefaßten Intervallen. Flüge 12.1 und 12.2

4.2 Herzfrequenz

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Herzfrequenz der Piloten während der verschiedenen von uns unterschiedenen Phasen. In der Ruhephase vor dem Start werden für die Herzfrequenz Mittelwerte zwischen 69 und 111 min^{-1} , Maximalwerte zwischen 82 und 136 min^{-1} erreicht. Während der Startphase messen wir Mittelwerte von 85 - 128 min^{-1} , Spitzen zwischen 109 und 166 min^{-1} . Die in der Tabelle angegebenen Werte für die Flugphase sind bis auf wenige Ausnahmen im Mittel deutlich niedriger als in der Startphase, die Möglichkeit zur differenzierten Beurteilung der Veränderungen im Flugverlauf wird an Tabelle 2 gegeben. In der Landephase liegen die Mittelwerte zwischen 83 und 155 min^{-1} , die Maxima zwischen 99 und 190 min^{-1} . Damit liegen Mittelwerte und Maxima in etwa zwei Drittel der Fälle etwas höher als beim Start. Die Ruhewerte nach der Landung liegen in 10 von 14 Fällen unter den entsprechenden Werten der Vorstartphase. Dies wird erklärt durch den Wegfall der Erwartungsspannung, die in der Vorstartphase teilweise zu erstaunlich hohen Herzfrequenzen führt.

Exemplarisch zeigt Abbildung 13 Herzfrequenz und Höhe während der von uns unterschiedenen Phasen.

Die Tabelle 2 gibt Auskunft über das Verhalten der Herzfrequenz aller Piloten im Flugverlauf. Dabei beziehen sich angegebene Mittelwerte und Maxima jeweils auf 10-Minuten-Intervalle.

Tabelle 1: Herzfrequenz in min^{-1} in den verschiedenen Flugphasen
(*: Werte liegen nicht vor)

Flugphase	F l u g n u m m e r																
	1	2	3	4	5	6	7	8 ₁	8 ₂	9	10 ₁	10 ₂	11 ₁	11 ₂	12 ₁	12 ₂	
Vorstartphase	Mittelwert	82	72	69	80	101	102	83	91	96	87	87	85	93	103	87	111
	Maximum	100	82	96	101	128	124	97	113	106	119	107	102	112	115	107	135
Startphase	Mittelwert	109	85	94	112	128	125	93	115	89	97	105	94	110	112	124	122
	Maximum	120	109	148	133	166	150	112	147	138	128	116	146	125	128	142	132
Flugphase	Mittelwert	101	86	89	89	110	101	101	90	80	87	98	83	110	118	127	96
	Maximum	123	133	176	125	143	132	131	113	98	109	155	97	161	168	144	130
Landephase	Mittelwert	83	88	117	127	155	126	94	98	104	*	110	102	150	120	134	134
	Maximum	99	109	190	153	167	141	102	124	126	*	143	148	161	148	157	143
Ruhe nach der Landung	Mittelwert	57	68	81	71	109	84	75	83	80	*	84	*	113	100	111	77
	Maximum	90	74	96	84	142	95	84	86	89	*	113	*	123	113	136	99

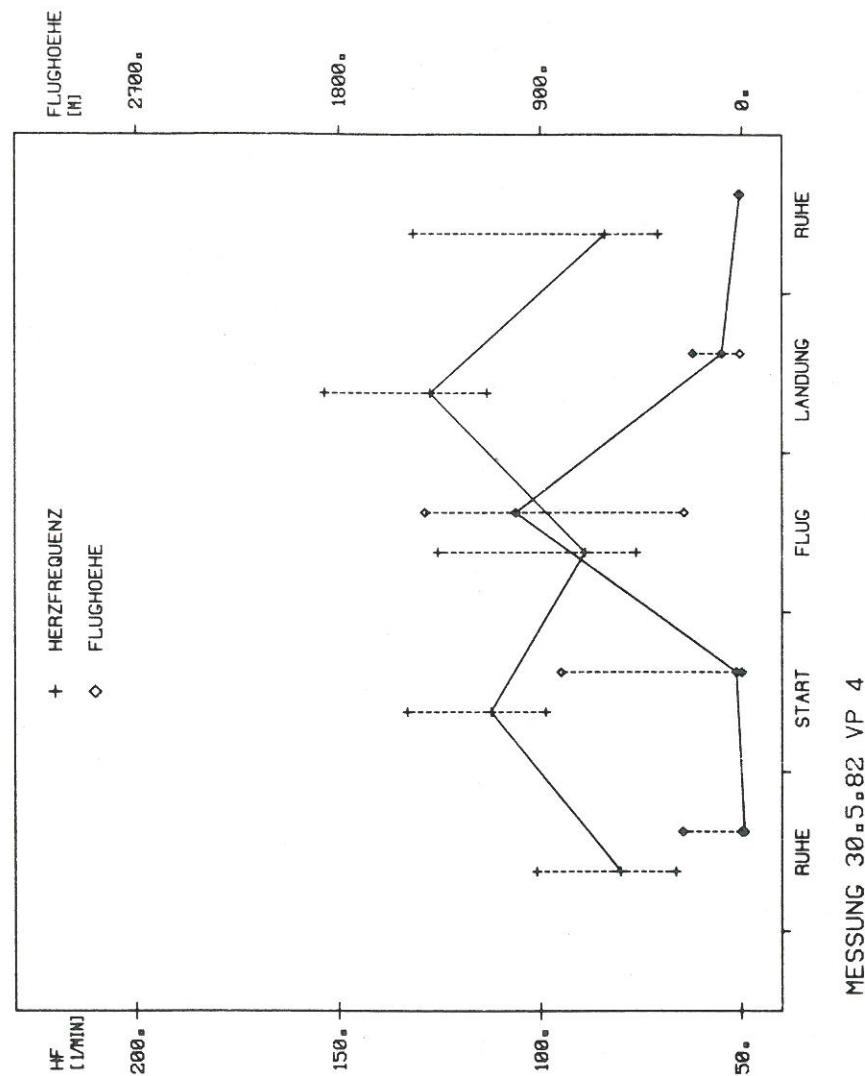


Abb. 13: Höhe und Herzfrequenz während der von uns unterschiedenen Beobachtungsphasen am Beispiel des Fluges Nr. 4.

Tabelle 2: Mittlere (oberer Wert) und maximale (unterer Wert) Herzfrequenz im Flugverlauf berechnet bzw. erfaßt über 10-Minuten-Intervalle in min.

Flugnummer	1	2	3	4	5	6	7	8 ₁	8 ₂	9	10 ₁	10 ₂	11 ₁	11 ₂	12 ₁	12 ₂
Verlaufsphase																
Flugphase 1	105 113	82 88	87 106	99 119	113 125	115 133	102 107	104 109	80 91	88 97	106 112	83 97	108 125	110 129	127 144	121 130
2	102 117	83 89	83 93	97 106	110 115	109 119	104 115	100 112	78 87	89 103	106 112		104 119	107 120	129 136	118 129
3	111 119	81 89	90 109	92 105	109 125	111 128	123 130	95 113	86 98	91 102	105 113		102 135	103 113	123 128	116 122
4	109 123	84 89	84 99	91 100	106 113	104 114	127 131	92 100		91 109	102 115		106 128	122 141	117 122	
5	98 108	86 94	84 94	91 106	108 123	105 115	119 127	89 100		92 104	101 107		131 161	117 129	109 118	
6	99 109	84 91	88 97	87 109	125 143	101 112	109 119	87 93		88 98	95 106		121 144		110 118	
7	95 103	81 97	95 121	84 91		108 123	108 116	88 96		84 89	103 135		132 168		112 121	
8	94 103	81 88	108 135	85 91		105 123	106 116	86 106		84 106	98 111		123 168		107 113	
9	97 105	78 82	94 105	84 93		98 111	109 119	87 99		84 92	93 143		116 126		101 112	
10	86 88	83 90	99 140	85 104		110 126	103 115	85 92		83 106	88 112		121 134		100 110	
11		88 97	89 120	88 103		107 125	98 104	86 105		82 89	88 122		136 165		96 112	

Tabelle 2: Fortsetzung 1. Teil

Flugnummer	2	3	4	6	7	8 ₁	9	10 ₁	11 ₁	12 ₂
12	81	87	84	101	97	84	87	95	109	89
	96	139	96	110	104	94	103	123	113	98
13	104	82	83	99	102	84		85		85
	133	103	89	103	108	92		109		103
14	104	84	82	96	101	92	84			83
	123	124	87	109	109	100	102			95
15	89	83	83	95	97			113		85
	97	108	89	101	106			155		102
16	83	85	87	95	96			116		87
	90	107	97	106	103			138		106
17	83	86	87	94	103					89
	93	112	103	103	114					97
18	87	94	88	92	96					86
	94	129	99	123	108					97
19	88	89	88	99	94					85
	94	108	93	117	105					92
20	89	92	89	95	95					84
	98	120	101	124	107					91
21	88	92	90	93	101					85
	95	119	103	100	113					96
22	87	84	91	91	95					88
	97	115	104	97	103					96
23	83	97	101	94	100					87
	94	176	121	100	106					93

Tabelle 2: Fortsetzung 2. Teil

Flugnummer:	2	3	4	7	
24	80	85	90	102	12 ₂
	87	116	102	111	89
25		92	91	93	96
		117	106	104	
26		90		92	85
		106		100	94
27		86	98	98	86
		99	106	106	99
28		88	90	90	93
		101	103	103	121
29		86		97	
		110		113	
30		95	87	87	
		117	93	93	
31		94	92	92	
		125	99	99	
32		112	90	90	
		118	101	101	
33			87	87	
			93	93	
34					
35					

4.3. Fragebögen und Leistungstests

In Tabelle 3 werden die Ergebnisse der self-ratings und der Leistungstests zusammenfassend dargestellt. Bei allen Untersuchungen wurde der Wilcoxon-Test für gepaarte Beobachtungen wie bei SACHS beschrieben verwendet. Es wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % gewählt. Die geprüften Beobachtungspaare, die berechneten Prüfgrößen R sowie die kritischen Werte für R sind der Tabelle 4 zu entnehmen.

Die Nullhypothese kann nur in einem Fall verworfen werden, nämlich bei der für den Rechentest benötigten Zeit. Dies wird als Übungseffekt interpretiert. Insgesamt finden sich also auf Grund dieser statistischen Auswertung keine subjektiven oder objektiven Ermüdungszeichen.

Tabelle 3: Übersicht über die Ergebnisse der self-ratings und der Leistungstests
Bei den mit * gekennzeichneten Flügen Erfassung entsprechender Werte
vor dem ersten Start und nach der zweiten Landung

Pilot Flug#	S E L F - R A T I N G					L E I S T U N G S T E S T S							
	(18-180)					Rechentest		Stroop-Test		Fehler		Zeit [s]	
	VOR	NACH	nach Flugzeit [H]			Zeit [s]	Fehler	Zeit [s]	Fehler	VOR	NACH	VOR	NACH
	dem Flug	dem Flug	1	2	3	4	5	6	dem Flug	dem Flug	dem Flug	dem Flug	dem Flug
A	1	118	115	15						1	4	202	215
	7	151	94	15	15	15	13	13		1	0	178	163
B	2	107	161	14	20	16	15			2	1	282	277
	3	154	55	15	10	9	9	5		0	2	224	198
C	4	146	104	13	13	14	13	12	11		3	184	165
	5	78	89	nicht	durchführbar					2	2	216	184
E	6	85	100	10	9	10	6			3	4	302	299
F	8 _{1/2} *	121	123	11	14					2	2	408	317
	9	135	120	13	9					0	2	308	289
G	10 _{1/2} *	133	139	11	11	9				8	11	350	210
H	11 _{1/2} *	107	145	nicht	durchführbar					2	1	147	136
I	12 _{1/2} *	135	117	11	10	7	12	12		5	2	198	190
												166	171
												1	0
												2	0
												7	3
												0	1
												6	0
												2	1
												5	6
												6	5
												2	3
												0	0
												1	1
												2	2

Tabelle 4: Ergebnisse im Wilcoxon-Paardifferenzen-Test nach SACHS

Mit * gekennzeichnete Werte deuten auf einen statistisch signifikanten Unterschied mit der Irrtumswahrscheinlichkeit 5 % hin.

Anwendung	Prüfgröße R	Kritischer Wert R (für = 0,05, zweiseitige Fragestellung)
Selfrating Test nach Goeters (vor/nach dem Flug)	31.5	13
Rechentest a) benötigte Zeit (" " ")	5*	13
b) Fehlerzahl (" " ")	27	8
Strooptest a) benötigte Zeit (" " ")	14.5	13
b) Fehlerzahl (" " ")	13.5	8
Selfrating im Flugverlauf nach einer Flugdauer von		
a) 1 gegenüber 2 Stunden	9	0
b) 1 gegenüber 3 Stunden		nicht auswertbar, da Anzahl der Differenzen = 0 zu klein
c) 2 gegenüber 3 Stunden	4	0
d) längere Flugdauer		nicht auswertbar, da Anzahl der Differenzen = 0 zu klein

4.4. Flugprotokoll (Beispiele)

Die Abb. 14 zeigt ein Beispiel eines Flugprotokolls, das die registrierten Parameter Außentemperatur, g-Belastung, Steig- bzw. Sinkgeschwindigkeit, Fluggeschwindigkeit und Höhe umfaßt.

Eine Detailvergrößerung des Parameters Beschleunigung eines Flugabschnittes von etwa 2-minütiger Dauer wird mit Abb. 15 gegeben. Diesem als durchaus repräsentativ anzusehender Kurvenverlauf ist zu entnehmen, daß zahlreiche Lastwechsel stattfinden. Die Frequenz der größeren Lastwechsel mit einer Amplitude um 0,5 g liegt bei etwa bis zu 10/min. Zahlreiche kleinere Beschleunigungen bleiben bei fehlendem Anhalt für haemodynamische Auswirkungen unberücksichtigt.

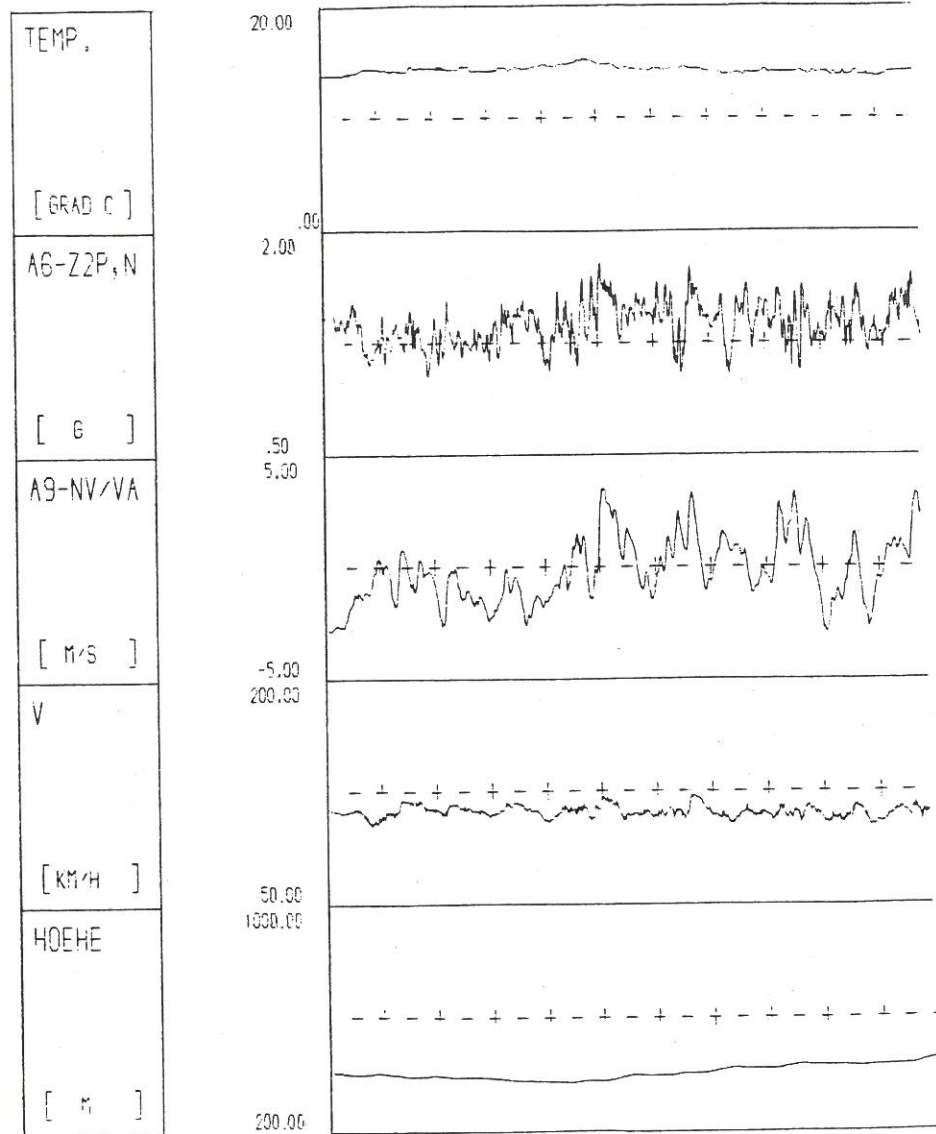


Abb 14: Ausschnitt eines Flugprotokolls mit den Parametern Temperatur, Beschleunigung, Vertikal- und Horizontalgeschwindigkeit sowie der Höhe. Länge 165 Sekunden.

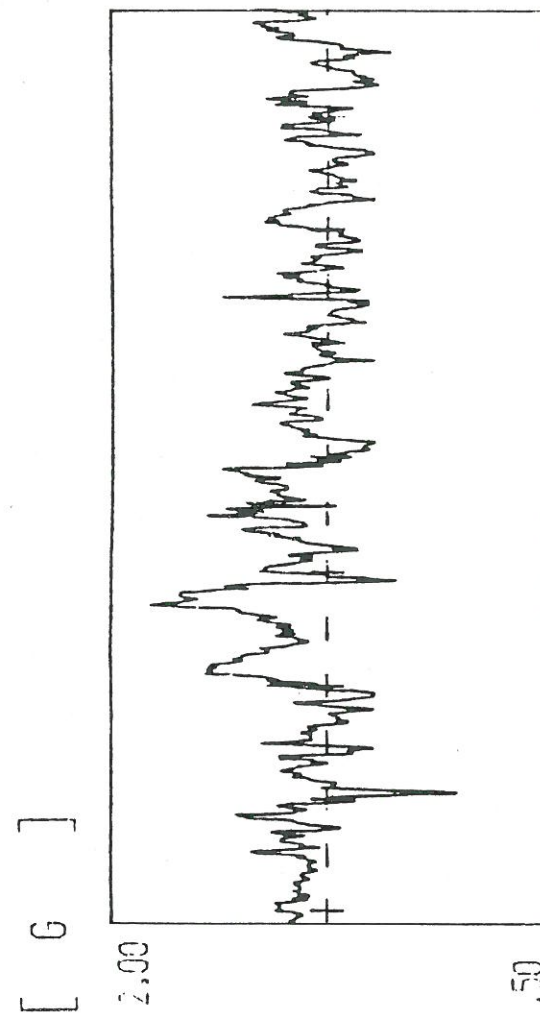


Abb. 15: Ein 120 Sekunden langer Abschnitt des Flugprotokolls. Detailvergrößerung des Parameters Beschleunigung.

5. Diskussion

Die Absicht unserer Arbeit ist es, orientierenden Aufschluß über das Maß der fliegerischen Gesamtbelastung und die Ermüdung bei Langzeit- und Überland-Segelflügen zu gewinnen. Simulationsmodelle stehen nicht zur Verfügung, somit wird diese Studie als Feldstudie konzipiert. Aus der Absicht, die Ablenkung des Piloten durch Apparaturen und störende Meßwertaufnehmer möglichst gering zu halten, ergibt sich die Notwendigkeit der Beschränkung auf wenige Meßparameter während des Fluges. Deshalb beschränken wir uns auf die Registrierung der Herzfrequenz als integralen Parameter für die fliegerische Gesamtbelastung. Zur Erfassung physischer Belastungsfaktoren werden die g-Belastungen gemessen, ein Flug- und ein Höhenprotokoll erstellt. Während des Fluges werden stündlich eine Kurzbefragung zur subjektiven Einschätzung der Ermüdung, vor und nach dem Fluge ausführlichere Erhebungen zu dieser Frage sowie Leistungstests durchgeführt.

In der Mehrzahl der Fälle nimmt die Herzfrequenz bei unseren Flügen einen typischen Verlauf mit Minima in den Ruhephasen vor dem Start und nach der Landung und Maxima bei Start und Landung, wechselnde intraindividuelle Differenzen bei Start und Landung. Im Flugverlauf nimmt die Herzfrequenz über einen Zeitraum von 1 - 2 Stunden in den meisten Fällen kontinuierlich ab. Davon abweichend kommt es bei den Flügen 2, 3 und 9 zu einer schnellen Rückbildung der außerdem vergleichsweise niedrig ausfallenden Frequenzerhöhungen während der Startphase. Weitere Ausnahmen stellen der Flug 12/1 und besonders der Flug 11 als Zeichen eines außergewöhnlich belastenden Fluges dar. In besonderen fliegerischen Situationen wie großen Höhenverlust oder Außenlanderisiko fallen die relativen Herzfrequenzanstiege erwartungsge-

mäß interindividuell recht unterschiedlich aus. Bezüglich der Phasen Ruhe vor dem Start, Start und Landung, sind unsere Ergebnisse gut mit denen anderer Untersucher [4,10,13,66] in Einklang zu bringen. Unsere Ergebnisse für das Verhalten der Herzfrequenz im Flugverlauf weichen von den beim Wettbewerbsflug gefundenen Werten ab [40,78]. KRÜGER sieht den von ihm beobachteten Anstieg der Herzfrequenz im Flugverlauf als Indiz für eine zunehmende körperliche Erschöpfung an. Angesichts des von uns beobachteten Absinkens der Herzfrequenz im Flugverlauf sind die Ergebnisse SCHÖNHERRs neu zu bewerten und dürften mit zunehmender Flugdauer unter Ausschluß besonderer Gefahrensituationen deutlich niedriger liegen. Insgesamt gestaltete sich ein Vergleich mit den in der Literatur angegebenen Ergebnissen schwierig, da häufig ohne Rücksichtnahme auf die große interindividuelle Schwankungsbreite der Herzfrequenz bei gleichzeitig kleinen Stichprobenumfängen eine unseres Erachtens unzulässige statistische Bearbeitung des Datenmaterials vorgenommen wurde.

Bei der Betrachtung des Herzfrequenzverhaltens als Antwort auf psychophysische Belastungsfaktoren sind eine Reihe von Komponenten zu berücksichtigen. Neben der von BEIER als unbedeutend dargestellten physischen Belastungen kommen noch Belastungen durch Hypoxie beim Aufenthalt in größeren Höhen, Temperaturbelastungen und Beschleunigungsbelastungen. Bei längeren Flügen werden die entsprechenden Reaktionen der Herzfrequenz dabei durch die bekannte zirkadiane Rhythmik überlagert. Alle unsere Flüge wurden etwa zwischen 12 und 18 Uhr absolviert. STEINHOF hat 1972 die Herzfrequenzen von 17 F-104-Piloten unter fliegerischer Belastung im Simulator zu verschiedenen Tages- und Nachtzeiten gemessen. Als Mittelwerte für die Herzfrequenz werden um 12.00 Uhr 85,7, um 15.00 Uhr 93,2 Schläge und um 18.00 Uhr 90,5

Schläge/min. angegeben. Diese Zahlen geben ein Beispiel für die Größenordnungen des Einflusses der zirkadianen Rhythmik bei unserer Untersuchung.

Die geflogenen Durchschnittshöhen liegen zwischen etwa 600 und 1400 m, nur ausnahmsweise wird kurzfristig eine Höhe von mehr als 2200 m erreicht. Nach SCHMIDT/THEWS kommt es in Höhen unterhalb 2000 m in Ruhe trotz des geringeren Sauerstoffpartialdruckes weder zu einer nennenswerten Abnahme der Sauerstoffsättigung des Hämoglobins noch zu einer Zunahme der Herzfrequenz. Somit sind die bei unseren Untersuchungen erfliegenen Höhen unter diesem Aspekt nicht als belastender Faktor zu werten.

Die Obergrenze der Behaglichkeitstemperatur von 24°C nach WENZEL wurde mehrfach überschritten. Bei einer Überschreitung dieser Temperatur von bis zu 3°C bei 7 Flügen wurde kein, bei Überschreitung um mehr als 5°C bei Flug 9 wurde leichter Diskomfort geäußert. Bei allen diesen Flügen lag die relative Luftfeuchtigkeit um 30 %. Eine Auswirkung auf das Verhalten der Herzfrequenz kann aus diesen orientierend erhobenen Daten nicht abgeleitet werden. Dazu wären differenziertere Untersuchungen wie Messung von Körperkern- und Hauttemperatur und anderen erforderlich gewesen.

Nach VOGEL sind es nicht zuletzt Beschleunigungsänderungen, die eine Veränderung der Herzfrequenz bedingen. VETTES beobachtete eine Steigerung der Herzfrequenz um durchschnittlich 7 Schläge/min. bei einer Belastung von nur 1,5 g. Wir haben beim Thermikflug häufige Lastwechsel mit einer Amplitude von mehr als 0,5 g und einer Frequenz bis zu etwa 10/min. gemessen (s. Abb. 15). Ein Einfluß auf die Herzfrequenz muß also angenommen werden.

Es gibt keinen Grund für die Annahme, daß sich die oben erörterten Faktoren mit möglichem Einfluß auf die Herzfrequenz im Flugverlaufe ändern. Bei der Mehrzahl der Piloten nimmt die Herzfrequenz jedoch - wie bereits festgestellt - im Flugverlauf ab. Dies könnte erst in der Zeit zwischen 15.00 Uhr und 18.00 Uhr durch den Einfluß der zirkadianen Rhythmik miterklärt werden, also nach Erreichen des Maximums, doch dürfte dieser Einfluß aufgrund der geringen Amplitude der zirkadianen Rhythmik in diesem Zeitabschnitt eher von untergeordneter Bedeutung sein. Die physischen Belastungsfaktoren bleiben weitgehend konstant, die psychischen Belastungsfaktoren müssen sich also ändern. Aber auch die komplexen Aufgaben des Piloten, die mentale Belastung, ändert sich im Flugverlauf nur graduell, keineswegs jedoch mit Regelmäßigkeit bevorzugt in den ersten beiden Flugstunden, während denen die beobachtete Herzfrequenzabnahme meist stattfindet. So muß die Veränderung im emotionalen Bereich gesucht werden. Diese könnte einerseits in einer sich auflösenden Erwartungsspannung bestehen, andererseits müßte man bei Gewöhnung an die Bewegungen im Luftraum ein verändertes Risikoerleben postulieren.

Zwischen den Befragungen zur Ermüdung im Flugverlauf und der Entwicklung bei den vor und nach dem Fluge durchgeführten Untersuchungen ergibt sich teilweise eine Diskrepanz. Dies ist nach SCHMIDTKE durch ein bei anstrengender geistiger oder monotoner Arbeit zu beobachtendes Phänomen der psychischen Ermüdung zu erklären. Erholung setzt ein, wenn eine Leistung abgebrochen, reduziert oder durch eine andere ersetzt wird. Dabei nimmt der Ermüdungsgrad ab, die Leistungsfähigkeit wieder zu. Dies mag der Grund dafür sein, daß wir sowohl bei der Befragung zur subjektiven Einschätzung der Ermüdung als auch bei den Leistungstests nach dem Fluge im Vergleich

zu vor dem Fluge keine Verschlechterung feststellen konnten. Ein deutlicher Einbruch bei der subjektiven Einschätzung der Ermüdung während des Fluges ist nur bei den beiden Flügen 3 und 6 festzustellen. Im Flug 3 stellen wir nach der 2. Flugstunde ein Absinken der Bewertungszahl von 15 auf 10, nach der 5. Flugstunde auf einen Wert von 5 fest. Bei Flug 6 ist nach der 4. Stunde eine Abnahme dieses Wertes auf 10 auf 6 zu beobachten. Ein entsprechender Niederschlag bei den Untersuchungen nach dem Fluge findet sich nicht. Zusammenfassend kann man also bei den meisten unserer Flüge keine Änderung der subjektiv empfundenen Ermüdung feststellen. Die Frage nach einem Leistungseinbruch nach einer Flugzeit um 4 Stunden von NEUBERT und MÖCKEL läßt sich nicht eindeutig beantworten, unsere Ergebnisse sprechen allerdings eher dagegen. Flugtechnische Fehler bei der Landung traten nach Flügen von solcher Dauer bei unseren Piloten nicht auf, sind aber in der Segelfliegeröffentlichkeit gleichwohl als häufig bekannt. Möglicherweise spielt dabei ein verändertes Risikoerleben mit der Folge verminderter Aufmerksamkeit und Konzentration die entscheidende Rolle.

Anhaltspunkte für eine myokardiale Vorschädigung hatten sich im Rahmen der flugärztlichen Tauglichkeitsuntersuchung für keinen unserer Probanden ergeben. Somit liegt die Grenzfrequenz mit der Gefahr einer akuten Herzinsuffizienz bei längerem Bestehen bei mehr als 170 Schlägen/min. Diese Frequenz wurde in keinem Falle in mehr als einzelnen 20 sec.-Intervallen erreicht. Die als Mittelwert über ein 10 min.-Intervall erreichten Werte liegen im Maximum bei 132 Schlägen/min. und wurden bei dem als Ausnahmeflug anzusehenden Flug Nr. 12 erreicht. Bei den drei über 30jährigen Piloten beträgt dieser Wert maximal 116 Schläge/min. Zusammenfassend dürfte mit diesen Werten selbst bei leicht vorgeschädigtem Myo-

kard eine Gefährdung während des Fluges weitgehend ausgeschlossen sein. Solchen Personen sollte also unseres Erachtens nicht von vornherein die Möglichkeit zur Teilnahme am Überlandflug ärztlicherseits versagt werden. Eine objektive Klärung der Frage, ob es nach längeren Flugzeiten vermehrt zu Landeunfällen kommt, ist mit Hilfe der vom Luftfahrtbundesamt erhobenen Daten nicht möglich. Eine Voraussetzung zur Klärung dieser Frage wäre die geänderte statistische Erfassung aller Flüge mit den dazugehörigen Flugzeiten.

6. Zusammenfassung

Von 9 Segelflugpiloten wurden insgesamt 16 Flüge mit einer Flugdauer bis um 6 Stunden, überwiegend Überlandflüge, unternommen. Als integraler Parameter der fliegerischen Gesamtbelastung wurde die Herzfrequenz kontinuierlich registriert. Neben einem Flugprotokoll wurden die Höhe, die Cockpittertemperatur und die g-Belastung aufgezeichnet. Vor, während und nach dem Fluge wurden Self-rating-Tests zur Ermüdung, vor und nach dem Fluge zusätzlich Leistungstests durchgeführt. Keiner dieser Tests weist auf eine kontinuierliche oder markante Veränderung im Befinden während des Fluges bei den von uns erzielten Flugzeiten hin. Bei der Untersuchung der Herzfrequenz fällt neben der großen interindividuellen Schwankungsbreite eine kontinuierliche Abnahme der Herzfrequenz im Flugverlauf auf. Schließt man besondere risikobehaftete Situationen fliegerischer Belastung aus, kann die kardiovaskuläre Belastung während längerer und auch bei nicht im Rahmen eines Wettbewerbs durchgeführten Überlandsegelflügen geringer als bisher vermutet angesehen werden.

Forderungen nach zusätzlichen Restriktionen des Gesetzgebers mit Auswirkung auf die fliegerärztliche Tauglichkeitsuntersuchung können nicht unterstützt werden.

Schrifttum

- [1] ADAM, N. Untersuchungen über die Belastbarkeit und das Reaktionsverhalten von Privatflugzeugführern.
Abschlußbericht für BMV Nr. L-4/76
DFVLR-Institut für Flugmedizin
Abt. Flugphysiologie und -psychologie.
- [2] BAADER, P. Psychophysiologische Untersuchung von Furcht und Angst beim Segelfliegen.
Psych. Diplomarbeit. Tübingen 1980.
- [3] BARTENWERFER, H.G. Beiträge zum Problem der psychischen Beanspruchung.
Köln: Westdeutscher Verlag 1960.
- [4] BEIER, J. Die psychophysische Belastung beim Fliegen: Cardiopulmonale Regulation und Energieumsatz bei Segelflugpiloten.
Med. Dissertation. Tübingen 1982.
- [5] BEIER, J.
BEIER-REILBACH, R.
SCHLEBUSCH, H. Stoffwechselvorgänge und Energieeinsatz bei Segelflugpiloten während stundenlanger Segelflüge.
In Vorbereitung.
- [6] BODLEE, H. Motor- und Segelflug.
München: Hanno Reich Verlag 1971.
- [7] BOOZE, C.F.
PIDKOWICZ, J.K.
DAVIS, A.W.
BOLDING, F.A. Postmortem coronary atherosclerosis findings in general aviation accident pilot fatalities: 1975-77.
Aviat. Space Environ. Med. 52 (1981) 24-27.
- [8] BRUNN-PFEIFFER, G.
BRUNN, S.
HEHL, F.J.
et al. Kreislaufregulation beim Drachenfliegen.
Medizintechnik 101 (1981) 10-12.
- [9] BUNDESANSTALT
FÜR FLUGSICHERUNG Nachrichten für Luftfahrer, Teil II. Richtlinien für die Feststellung der körperlichen Tauglichkeit des Luftfahrtpersonals (NFL II-25/74). Frankfurt 29.4.74.

- [10] BURCHARDT, W. EKG-Speicheruntersuchungen zur Frage der Herz-Kreislaufbelastung beim Segelfliegen.
Med. Dissertation Münster 1969.
- [11] CLASING, D. Psychische Belastung beim Fliegen u. Betarezeptorenblockade.
Sportarzt und Sportmedizin 25 (1974) 269-272.
- [12] CLASING, D. Das Verhalten der Herzfrequenz beim Segelflug nach Gabe eines Betarezeptorenblockers.
RUJBR, R.
STEDTFELD, G.
Sportarzt und Sportmedizin 22 (1971) 86-91.
- [13] CLASING, D. Herzfrequenz und psychische Anspannung beim Segelfliegen.
VOGLER, G.
BURCHARDT, W.
KLAUS, E.J.
Med. Welt 22 (1971) 808-811.
- [14] COOKE, J.N.C. Fatal gliding accidents in the UK: 1960 - 1980.
BALFOUR, A.J.C.
UNDERWOOD GROUND
K.E.A.
Aviat. Space. Env. Med. 54 (1983), 1028-30.
- [15] CRANCE, J.P. Les Contraintes Physiologiques du vol-à-voile de performance.
PITTACO, M.
Medicine Aeronautique et spatiale 21 (1982) 4850.
- [16] CRANGE, J.P. Les accidents de planeurs en France dans les dix dernières années.
DOLLANDER, G.
BOULANGE, M.
Medicine Aeronautique et Spatiale 18 (1979) 108-113.
- [17] DEUTSCHER AERO CLUB Statistische Daten zum Segelflug in der BRD.
Briefliche Mitteilung.
- [18] DILLE, J.R. Mental Stress causes accidents, too.
Aviat. Space. Environ. Med. 53 (II) 1982) 1137.

- [19] V. DIRINGSHOFEN, H. Elektrokardiographie, Blutdruck-schreibung und Pneumotachographie im Motorflug.
V. DIRINGSHOFEN, B.
Acta Aerophysiologicala 6 (1933) 48 - 60.
- [20] DODGE, R. Circadian Rhythms and fatigue: a discrimination of their effects on performance.
Aviat. Space. Environ. Med. 53 (II) (1982) 1131-6.
- [21] EICHLER, J. Telemetrie der Herzfrequenz und Atemfrequenz bei Führern von Segel- und Motorsportflugzeugen unter verschiedenen Flugbedingungen.
LOBSIEN, I.
POHLERT, St.
Mschr. Unfallheilk. 78 (1975) 283-289.
- [22] FARIA, I.E. Circadian changes in resting heart rate and body temperature, maximal oxygen consumption and perceived exertion.
DRUMMOND, B.J.
Ergonomics 25 (1982) 381-386
- [23] FREDE, H. Psychovegetative und psychomotorische Körperreaktionen während des Segelfliegens.
Med. Dissertation in Vorbereitung.
- [24] GARTNER, W.B. Concepts of workload in Survey of Methods to assess workload.
MURPHY, M.R.
Agardograph No. 246 (1979) 1-2.
- [25] GEISTMANN, D. Die Entwicklung der Kunststoffsegelflügezeuge.
Stuttgart: Pietsch-Verlag (1976)
- [26] GERECHT, K. Veränderung biochemischer Parameter beim Streckensegelflug (vorl. Titel).
Med. Dissertation Bonn (in Vorbereitung).

- [27] GILLIES, J.A. Textbook of Aviation Physiology.
New York, Oxford, London (1965):
Pergamon Press.
- [28] HARDING, R.M. Special forms of flight.
MILLS, F.J. I: Balloons, gliders and hang gliders.
BMJ 287 July 23 (1983) 277-8
- [29] HAUFF, A. Assessment of Circadian Rhythm of
SCHULTZE, G. Blood Pressure and Heart Rate in
Ambulatory Patients.
Biotelemetry Patient Monitor 8 (1981)
106-112.
- [30] HOHLWECK, H. Ein vereinfachtes Verfahren zur Abfrage
und Darstellung physiologischer Daten
von Bandspeichern.
Biomedizinische Technik 26 (1981)
196-198.
- [31] S'JONGERS, J.J. Quelques aspects psychosociaux et
BERTELS, A.M. physiologiques chez des pilotes de
EGO, F. planeurs Belges.
Bruxelles - Medical 7 (1977) 309-320.
- [32] JUNG, K. Anwendungsmöglichkeiten von Radio-
telemetrie- und Bandspeicherverfahren
in der flugsportmedizinischen For-
schung.
Medizintechnik 99 (1979) 119-122.
- [33] JUNG, K. Sportmedizinische Untersuchungen an
SCHULZE, J. Fallschirmspringern mit besonderer
Berücksichtigung des Herzfrequenz-
verhaltens.
Herz/Kreislauf (1983) 37-43.
- [34] KASSERA, W. Flug ohne Motor.
Stuttgart: Motorbuchverlag (1973).
- [35] KIRCHHOFF, H.W. Kreislauf und Atmung unter Hypoie-
MEYER-ERKELENZ, J. stress.
Schriftenreihe Luftfahrtmed. und
Grenzgebiete 27 (1971).

- [36] KLEIN, K.E. Über die Auswertung von Untersuchun-
BRÜNER, H. gen am fliegenden Personal der DLH
KUKLINSKI, G. zur Frage der beruflichen Beanspru-
RUFF, S. chung auf der europäischen Kurzstrecke.
WEGMANN, H.M. Bonn: DFVLR, Institut für Flugmedizin
1974, Bericht 355-74/2.
- [37] KOCH, M. Biotelemetrische Untersuchungen des
Herz-Kreislauf-Systems bei G-91-Jet-
Piloten während des Fluges zur Fest-
stellung der unterschiedlichen fliege-
rischen Belastung (Night flying, Low
Level, Instrument Summary, Formation).
Med. Dissertation Bonn 1968.
- [38] KOPP, K.H. Veränderungen von Herzfrequenz und
HUBER, G. Stoffwechselfparametern im Blut beim
KEUL, J. Fallschirmspringen.
Sportarzt + Sportmedizin 2 (1978)
44-49.
- [39] KROLL, P. Der Anteil der Erwartungsspannung an
der fliegerischen Gesamtbelastung und
ihre Abhängigkeit vom Tagesrhythmus,
gemessen an physiologischen Größen.
Med. Dissertation Bonn 1972.
- [40] KRÜGER, A. Sportmedizinisches Leistungsprofil
der Segelflieger und kardiozirkula-
torische Belastung während des Fluges.
Med. Dissertation Frankfurt 1983.
- [41] LEENEN, L. Untersuchungen an Segelflugpiloten
während niederländischer Meister-
schaften.
In Vorbereitung.
- [42] LUFTFAHRTBUNDESAMT Bericht Nr. IV-31/1/80.
der BRD
- [43] LUFTFAHRTBUNDESAMT Bericht Nr. IV-32/13/82.
der BRD
- [44] MEIER, W. Untersuchungen zur Messung fliege-
MAHNKA, H. rischer Belastung der Piloten von
HOFFMANN, H. Passagiermaschinen.
Elektromedica 4, 75: 117-119.

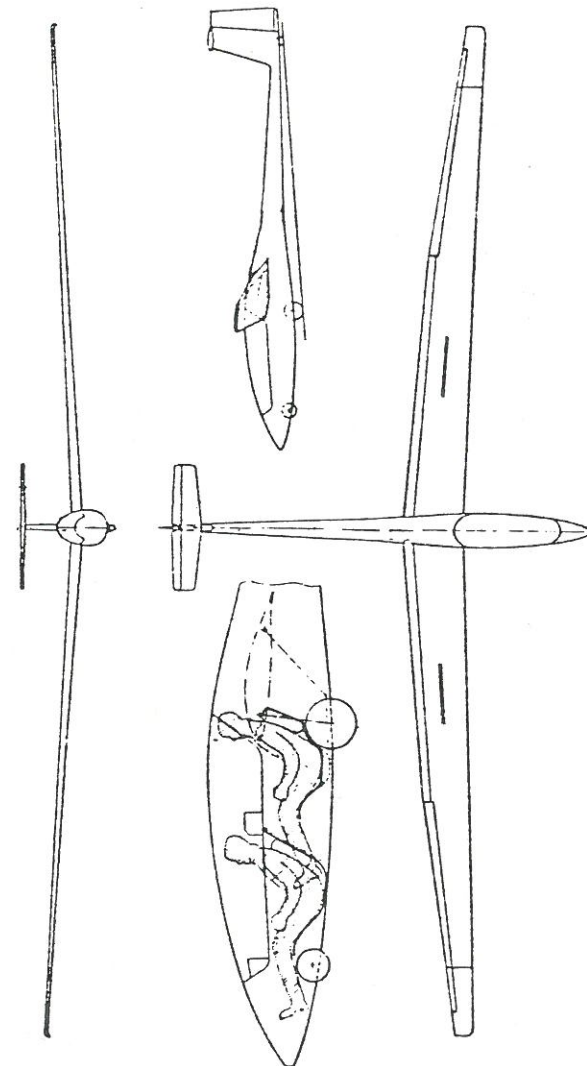
- [45] NEUBERT, C.G. Analyse und Systematik der Anforderungen des Wolkenhöhensegelfluges.
XII. Konferenz der Westerm. European Ass. for Aviation Psychology. Tegernsee (1977).
- [46] NEUBERT, C.G. Die Bedeutung der Antizipation für die Belastungsverarbeitung beim Segelfliegen.
Aktuelle Probleme der Sportpsychologie. München (1978).
- [47] NEUBERT, C.G. EINSTELLUNGEN UND REAKTIONEN AUF PSYCHOPHYSISCHE BELASTUNGEN BEIM SEGELFLIEGEN.
MÖCKEL, K.
Leistungssport 5/76, 350-358.
6/76, 433-456.
- [48] NEUBERT, C.G. Das Verhalten hämodynamischer Parameter beim Segelfliegen.
MOHR, M.
Sportarzt und Sportmedizin (1976) 49-60.
- [49] NEUBERT, C.G. KONZEPTION EINER SPORTWISSENSCHAFTLICHEN FELDUNTERSUCHUNG UND ERFAHRUNGEN MIT DER HERZFREQUENZ-AUFNAHME- UND ANALYSETECHNIK.
MOLZ, C.
Electromedica 5/75.
- [50] NUNNELEY, S.A. Physiological and Psychological Effects of Heart Stress Simulating Cockpit Conditions.
DOWD, P.J.
MYHRE, L.G.
STRIBLEY, R.F.
Aviat. Space. Environ. Med. 49 (1978) 763-767.
- [51] NUNNELEY, S.A. Heart Stress in Front and Rear Cockpits of F-4 Aircraft.
STRIBLEY, R.F.
ALLAN, J.R.
Aviat. Space. Environ. Med. 52 (1981) 287-290.
- [52] PIGGOTT, D. Subgravity sensations and gliding accidents.
Alton: 1978. Mills u. Co.

- [53] REICHMANN, H. Streckensegelflug.
Stuttgart: Pietsch-Verlag (1975).
- [54] ROSKAMM, H. Die Herzfrequenz im Training und im Wettkampf des Hochleistungssportlers.
BECKHOVE, Ph.
REINDELL, H.
Sportarzt und Sportmedizin 16 (1965) 439-453.
- [55] RUFF, S. Über die Entstehungsursache schwerer innerer Verletzungen bei Gleitflugzeugunfällen und über Maßnahmen zur Verminderung dieser Verletzungen.
Luftfahrtmedizin 3 (1939) 267-276.
- [56] RUFF, S. Grundriß der Luftfahrtmedizin.
STRUGHOLD, H.
München: Barth (1957).
- [57] RUTISHAUSER, W. Herz.
KRAYENBÜHL, H.P.
in: Klinische Pathophysiologie.
Stuttgart: Thieme (1982) 648.
- [58] RYAN, L.C. Current Role of Alcohol as a Factor in Civil Aircraft Accidents.
MOHLER, S.R.
Aviat. Space. Environ. Med. 50 (1979) 275-279.
- [59] SACHS, L. Angewandte Statistik.
Berlin: Springer (1984).
- [60] SAMEL, A. Automatisierte Rechnerauswertung von Momentanfrequenz und Sinusarrhythmie im Langzeit-EKG.
WEGMANN, H.M.
DFVLR, Institut für Flugmedizin
- Interner Bericht - IB 316-81-02.
- [61] SAMN, S.W. Estimating Aircrew fatigue: A Technique with Application to Airlift Operations.
PIRELLI, L.P.
USAF School of Aerospace Medicine
Techn. Report Dec. 1982; SAM-TR-82-21. Brooks AFB, TX.

- [62] SAXTON, C. Effects of Severe Heat Stress on Respiration and Metabolic Rate in Resting Man.
Aviat. Space. Environ. Med. 52 (1981) 281-286.
- [63] SCHALOW, D. Introduction à la recherche medicinale en vol à voile; prise d' électrocardiogrammes a bord de planeurs.
Revue de medicine aeronautique 5 (1966) 33-37.
- [64] SCHMIDT, R.F. THEWS, G. Physiologie des Menschen.
Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1980.
- [65] SCHMIDTKE, H. Die Ermüdung - Symptome, Theorien, Meßversuche.
Bern, Stuttgart: Huber 1965.
- [66] SCHÖNHERR, C.H. Untersuchung zur psycho-physischen Belastung des Segelflugzeugführers während des Fluges.
Med. Dissertation, Bonn 1983.
- [67] STEINHOFF, W.D. Tagesrhythmische Schwankungen von Kreislauf, Atmung und Gasstoffwechsel unter fliegerischer Belastung.
Med. Dissertation, Bonn 1972.
- [68] STEVENS, P.J. Fatal civil aircraft accidents. Their medicinal and pathological investigation.
Bristol (1970), Wright & Sons Ltd.
- [69] STÜBEN, O. Über die Kreislaufbelastung bei Flugschülern und -lehrern beim Segelfliegen.
Med. Dissertation Frankfurt 1979.
- [70] SUCHNER, U. Analyse von Segelflugunfällen und deren Ursachen unter flugmedizinischen Aspekten.
Med. Dissertation Techn. Univ. München 1982.

- [71] VETTES, B. VIEILLEFOND, H. AUFFRET, R. Cardiovascular Responses of Man Exposed to Accelerations in a Centrifuge.
Aviat. Space. Environ. Med. 51 (1980) 375-378.
- [72] VOGÉ, V.M. Acceleration forces on the human subject.
Aviat. Space. Environ. Med. 51 (1980) 970-980.
- [73] WALLINGTON, C.E. Meteorologie für Segelflieger.
Frankfurt: Limpert 1967.
- [74] WEBB, P. Workheat and oxygen cost in: Bioastronautics Data Book eds.: Parker, J.F., West, V.R.
NASA, Washington 1973.
- [75] WENZEL, H.G. Klimatische Arbeitsbedingungen in: Handbuch der Psychologie, Bd. 9 Betriebspsychologie.
Göttingen: Verlag für Psychologie Hogrefe 1970.
- [76] WHINNERY, J.E. Acceleration Stress-Induced Wolff-Parkinson-White-Syndrome with Marked ST-Segment Depression.
Aviat. Space Environ. Med. 52 (1981) 654-657.
- [77] WHITAKER, D. Sportmedizinisches Leistungsprofil und Belastbarkeit von Segelfliegern im Labor, Training und Wettkampf.
Med. Dissertation. Frankfurt 1983.

8. ANHANG



Flugmasse: 620 kg; Flächenbelastung: max. 37,3 kg/m²; Überziehgeschwindigkeit: 70 km/h; geringstes Sinken: 0,70 m/s bei 90 km/h und beste Gleitzahl 39,5 bei 110 km/h, alle mit 36,5 kg/m²; max. Fluggeschwindigkeit: 220 km/h.

Janus

Technische Daten

Spannweite: 18,20 m; Flügelfläche: 16,60 m²; Streckung: 20,00; Länge: 8,62 m; Leermasse: 365 kg; Wasserballast: 200 kg; max.

Verwendete Geräte

- 1) Medilog EKG-Recorder, Fa. Oxford
- 2) PCM-Telemetrie-Encoder 200 midi, Fa. rfe
- 3) PCM-Magnetbandspeicher 4 SI 7, Fa. Stellavox
- 4) Verschiedene Rechenanlagen der DFVLR-Standorte Braunschweig und Köln

Checkliste

Beladung des JANUS

1. Temperaturlaufnehmer
2. Einbau frisch geladener Batterie
3. 8 Tonbänder
4. Barograph
5. Behälter mit Trockeneis füllen
6. 4 Urinbeutel vorn, Condomansatz, 2 Urinbeutel hinten, Condomansatz
7. 4 kleine Urinflaschen
8. Zuckersatz: Lanzetten (10 St.), Tupfer, Pflaster, Kapillaren (10 St.), Hütchen (10 St.), Forapin
9. Abfallbeutel (Plastik)
10. Fingertücher
11. 1 Stundenwecker
12. Dokumentationsunterlagen: Ermüdungsfragebogen
Ermüdungskarte
Flugprotokoll, -blätter
großer Psychologiebogen
Vestibularfragebogen
13. Kniebrett
14. Kugelschreiber, Bleistifte
15. Flugkarten
16. Filmkamera und Filme bzw. Fotoapparat und Filme
17. Einsatz für Blutabnahme: Vakutainer-Nadeln
Vakutainer-Ansatz
Vakutainer-Röhrchen (für 20 ml Blut)
Alkoholtupfer
Pflaster
18. 1-Ltr.-Getränk vorne (Precitene, Tee, Bouillon)
19. Getränke, Essen hinten

METHODIK:

Angaben über den fliegerischen Status

Gesamtflugstunden (TT)Davon Segelflug.....h

Gesamtstarts (Segelflug)

bisher Flugstunden im laufenden Jahr (Segelflug).....

bisher Starts im laufenden Jahr (Segelflug).....

Überlanderfahrung: groß ☐ mittel ☐ gering ☐ keine ☐

Gestellte Tagesaufgabe

Bei Streckenflug: Ergebnis des Fluges (Zutreffendes unterstreichen)

z.B. umrundet, abgebrochen, außengelandet,.....

evtl. Bemerkung:

Dauer des Fluges: h min

Empfanden Sie die Durchführung des Fluges als

technisch / meteorologisch leicht ☐ schwierig ☐ ?

körperlich unbelastend ☐ belastend ☐ ermüdend ☐ schwer ☐ ?

Sensationen: Hunger ☐ ;Durst ☐ ;Hitzebelastung ☐ ;Kälte ☐

Muskelverspannung ☐ ; Gleichgewichtssensationen(z.B. Schwindel ☐

Wie stark war die Belastung des Gleichgewichtsorgans?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

(bitte abstufen)

Empfanden Sie die Meßwertaufnehmer als störend/behindernd bei der Durchführung des Fluges?

Was/wieviel essen Sie gewöhnlich während langer Flüge? Getränke(Menge)

Sind Sie gewohnt,während langer Flüge die Blase zu entleeren? _ _ _

Fragebogen zur subjektiven Einschätzung der Ermüdung zur Befragung vor und nach dem Fluge.

Schätzen Sie anhand der Gegensatzpaare auf dieser Seite Ihr momentanes Befinden ein. Jedes Gegensatzpaar ist durch eine Gerade verbunden. Durch ein Kreuz auf der Geraden sollen Sie ausdrücken, inwieweit Ihr augenblickliches Befinden mehr dem einen oder mehr dem anderen Extrem eines Gegensatzes entspricht. Geben Sie sich bitte Mühe, Ihren momentanen Zustand richtig wiederzugeben!

Ich fühle mich jetzt:

geistig müde	-----	geistig frisch
verausgabt	-----	energiegeladen
abgespannt	-----	ausgeruht
Konzentration fällt schwer.	-----	Konzentration fällt leicht.
körperlich erschöpft	-----	körperlich frisch
reizbar	-----	gelassen
antriebslos	-----	unternehmungsbereit
zerschlagen	-----	munter
müde	-----	hellwach
träge	-----	aktiv
nervös	-----	ruhig
schlafbedürftig	-----	nicht schlafbedürftig
unaufmerksam	-----	aufmerksam
abgeschlafft	-----	lebendig
lahm	-----	temperamentvoll
erschöpft	-----	erholt
schlapp	-----	tatkräftig
Tätigkeit kann nur mit großer Mühe verrichtet (fortgesetzt) werden.	-----	Tätigkeit kann mühelos verrichtet (fortgesetzt) werden.

Fragebogen zur subjektiven Einschätzung der Ermüdung zur Befragung während des Fluges.

C O D E : _____ Datum : _____

Funktion Cockpit: ☐ Uhrzeit (LT): _____

Kabine :

ANLEITUNG: Denken Sie genau darüber nach, wie Sie sich momentan fühlen. Machen Sie bei jeder Frage ein - und nur ein - Kreuz ("x").

	>	=	<
1. SEHR MUNTER			
2. ÄUßERST MÜDE			
3. DURCHAUS FRISCH			
4. LEICHT ERSCHÖPFT			
5. UNTERNEHMUNGSLUSTIG			
6. ZIEMLICH FRISCH			
7. ABGESCHLAFFT			
8. SEHR ERFRISCHT			
9. ZIEMLICH ERSCHÖPFT			
10. AUSGEPUMPT			

> : BESSER ALS; = : GENAU; < : SCHLECHTER ALS

Beispiel Rechentest

Bei den von den Probanden zu lösenden Rechenaufgaben handelte es sich durchweg um einfach zu lösende mehrgliedrige Aufgaben folgenden Typs:

$$(56+61) : 3 = 39$$

oder

$$(6 * 7 + 38) : 4 = 20$$

Jeweils 30 Aufgaben dieser Art waren vor und nach dem Fluge zu bewältigen.

Forschungsbereich Flugmechanik/Flugführung

Bereichsleitung: Flughafen, D-3300 Braunschweig

Institut für Flugmechanik

Institut für Flugführung

Institut für Dynamik der Flugsysteme

Institut für Flugmedizin

Forschungsbereich Strömungsmechanik

Bereichsleitung: Bunsenstraße 10, D-3400 Göttingen

Institut für Theoretische Strömungsmechanik

Institut für Experimentelle Strömungsmechanik

Institut für Antriebstechnik

Institut für Entwurfsaerodynamik

Forschungsbereich Werkstoffe und Bauweisen

Bereichsleitung: Pfaffenwaldring 38–40, D-7000 Stuttgart 80

Institut für Strukturmechanik

Institut für Aeroelastik

Institut für Werkstoff-Forschung

Institut für Raumsimulation

Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung

Forschungsbereich Nachrichtentechnik und Erkundung

Bereichsleitung: D-8031 Oberpfaffenhofen, Post Weßling/Obb.

Institut für Hochfrequenztechnik

Institut für Optoelektronik

Institut für Physik der Atmosphäre

Institut für Nachrichtentechnik

Forschungsbereich Energetik

Bereichsleitung: Pfaffenwaldring 38–40, D-7000 Stuttgart 80

Institut für Technische Physik

Institut für Technische Thermodynamik

Institut für Physikalische Chemie der Verbrennung

Institut für Chemische Antriebe und Verfahrenstechnik

Bereich Raumfahrt

Bereichsleitung: Köln-Porz/Oberpfaffenhofen

Bereich Wissenschaftlich-Technische Betriebseinrichtungen

Bereichsleitung: D-8031 Oberpfaffenhofen, Post Weßling/Obb.

Hauptabteilung Windkanäle

Leitung: Bunsenstraße 10, D-3400 Göttingen

Hauptabteilung Verkehrsforschung

Linder Höhe, D-5000 Köln 90 (Porz)

Projektträgerschaften für Arbeit, Umwelt, Gesundheit

Leitung: Südstraße 125, D-5300 Bonn 2