

# Die Ermittlung von Lastkollektiven für die Bemessung von Segelflugzeugen

H. Kossira/W. Reinke,  
 Institut für Flugzeugbau und Leichtbau  
 Technische Universität Braunschweig

Vortrag, gehalten auf dem XVII. OSTIV-Kongress, Paderborn, Deutschland (1981)

Zum Nachweis der zulässigen Lebensdauer von Flugzeugen werden im allgemeinen Betriebsfestigkeitsversuche durchgeführt, deren Belastungskollektive auf Messungen im Flugbetrieb beruhen.

Grundlage für den Betriebsfestigkeitsnachweis an Segelflugzeugen bilden in Deutschland zurzeit Messungen über die Böenstärke und -häufigkeit in geringen Flughöhen, die im Jahre 1938 in der DVL von Kaul [1] durchgeführt wurden und auf der Grundlage von Schwerpunktsbeschleunigungsmessungen beruhen, bei denen nur die Spitzenwerte gezählt wurden und die weder das Überschwingen einer Tragfläche noch ihr Nachschwingen infolge der elastischen Antwort des Flugzeuges berücksichtigten.

Aufbauend auf diese Messungen wurden Mitte der sechziger Jahre von Thielemann und Franzmeyer [2] im Institut für Flugzeugbau und Leichtbau (IFL) der Technischen Universität (TU) Braunschweig theoretische Belastungskollektive für die erstmals gebauten GFK-Segelflugzeuge aufgestellt (Abb. 1). Dabei wurden durch Messungen nicht belegte Einflüsse durch Abschätzungen, die den Stand der Technik repräsentierten und der damals vorhersehbaren Weiterentwicklung Rechnung trugen, in die Kollektive eingearbeitet. So wurde eine Lebensdauer von 3000 Flugstunden (entsprechend 15 Jahre zu 200 Flugstunden) angenommen und der übliche Flugstil bei der Zusammenstellung der einzelnen Flugabschnitte berücksichtigt. Die darauf aufbauenden Betriebsfestigkeitsversuche und auch weitere statische Versuche liessen vermuten, dass die Segelflugzeuge innerhalb der oben genannten Lebensdauer nicht geschädigt werden.

Die Flugpraxis hat diese Vermutung bestätigt: Bis heute ist kein Ausfall eines nach diesen Lastkollektiven dimensionierten Segelflugzeuges bekannt, der auf Ermüdung der tragenden GFK-Struktur beruht.

Durch die Verwendung von GFK war es möglich geworden, die aerodynamische Güte, ausgedrückt durch das Verhältnis Auftrieb zu Widerstand, um 50% zu steigern. Gleichzeitig erlaubten die neuen Segelflugzeuge eine Vergrößerung der Flächenbelastung, wodurch sich der Geschwindigkeitsbereich zu höheren Maximalgeschwindigkeiten verschoben liess.

Zusätzlich positiv auf die Flugleistungen wirkte sich die zunehmend genauere Kenntnis über Form und Stärke von Aufwindverteilungen und die Verwendung einer besseren Instrumentierung zur Beurteilung der Aufwinde während des Fluges aus. Dies führte dazu, dass heute Streckenleistungen bis etwa 1500 km und durchschnittliche Reisegeschwindigkeiten von 110 km/h möglich sind. Als Beispiel für die Leistungsfähigkeit heutiger Segelflugzeuge sei hier nur das innerhalb Deutschland erfolgte Dreieck von etwa 1000 km Länge erwähnt.

Die Erzielung dieser hohen Flugleistungen wurde möglich durch eine starke Veränderung des Flugstils und eine drastische Erhöhung der Trainingsleistungen. So erfordert die optimale Ausnutzung der Aufwindfelder die Durchführung von speziellen Einflugmanövern, die bisher in den Lastannahmen nicht berücksichtigt wurden und über die nur ungenügende Erkenntnisse vorliegen. Die heute üblichen hohen Trainingsleistungen bringen gleichzeitig eine höhere jährliche Flugstundenanzahl, die bei Zugrundlegung der bisher zugelassenen Gesamtflugstundenanzahl die zulässigen Betriebsjahre der wartungsarmen, langlebigen GFK-Segelflugzeuge herabsetzt.

Für den Lebensdauernachweis von Segelflugzeugen unter diesen härteren Betriebsbedingungen und auch für die Zu-

lassung neuer Werkstoffe ist daher die Kenntnis der heute im Betrieb auftretenden Belastungen und deren Häufigkeit dringend erforderlich.

Wie man die heute zur Verfügung stehenden Möglichkeiten einsetzen kann, zeigt als Überblick Abb. 2. Charakteristische Messwerte werden während des Fluges gemessen und mit Hilfe eines Rechners zu einem Lastkollektiv verarbeitet, das schliesslich in Form einer Markov-Übergangsmatrix vorliegt. Das

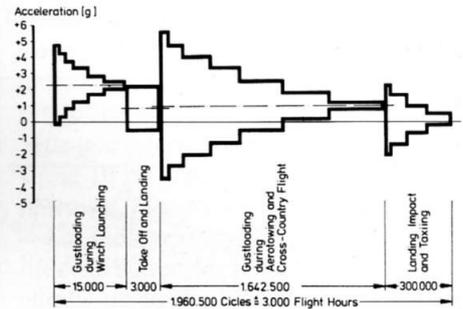


Abb. 1: Belastungskollektiv für Segelflugzeuge nach [2]

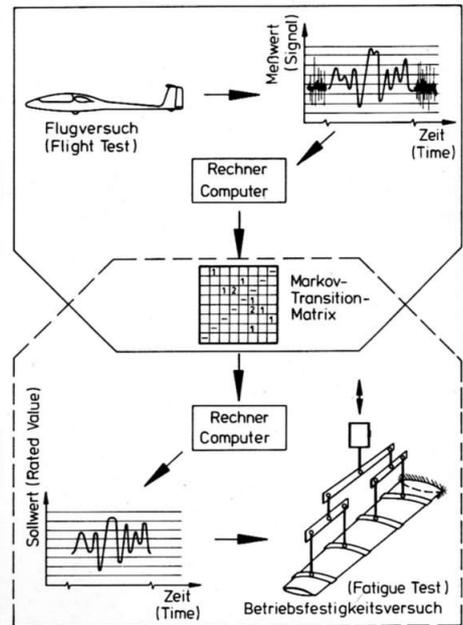


Abb. 2: Flussdiagramm zur Ermittlung der Lastwechsel für den Betriebsfestigkeitsversuch

so gespeicherte Lastkollektiv kann dann mit Hilfe eines Rechners, der eine servohydraulische Belastungseinrichtung steuert, in einem Quasi-Random-Prozess - und damit sehr wirklichkeitsnah - abgearbeitet, d.h. die entsprechenden Lasten auf ein zu prüfendes Bauteil aufgebracht und damit die Lebensdauer bei vorgegebenem Spannungsniveau bestimmt werden.

Dieser Vortrag wird sich nur mit dem ersten Teil, nämlich der Ermittlung von Lastkollektiven für Segelflugzeuge, beschäftigen.

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr (BMV) wurden vom Institut für Flugzeugbau und Leichtbau (IFL) der TU Braunschweig in Zusammenarbeit mit der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR) Flugmessungen zur Bestimmung der auftretenden Lasten durchgeführt mit einem Segelflugzeug des Typs «Janus» der DFVLR, das mit einer PCM-Anlage und den benötigten Messwertaufnehmern ausgerüstet worden war. Während der Messflüge wurden die in Abb. 3 gezeigten Messwerte registriert.

Da in einem Schwingfestigkeitsversuch die Betriebsfestigkeit der wichtigsten Primärstruktur eines Segelflugzeuges, nämlich des Flügels, nachzuweisen ist, legt man dem Versuch die statistische Verteilung der charakteristischen Grösse, d.h. des Flügelbiegemomentes, zugrunde. Um dieses bestimmen zu können, wurden an der Zunge der Flügelholmverbindung im Bereich der Wurzelrippe des Messflugzeuges vier zu einer Vollbrücke geschaltete DMS angebracht (Abb. 4). Die Eichung der Messgeräte erfolgte durch Gewichtsbelastung der Tragfläche am Boden und die Ermittlung der Normierungsgrösse durch einen stationären Gleitflug in ruhiger Luft (1-g-Flug). Die Messdatenerfassung und ihre Verarbeitung ist in Abb. 5 dargestellt. An Bord des Flugzeuges wurden die von den Gebern erzeugten Messsignale verstärkt, digitalisiert, zu einer seriellen Signalfolge geordnet, mit einem Synchronwert versehen und auf Band gespeichert. Die einzelnen Flugabschnitte wie Start, Landung, Übungsflug usw. wurden codiert und damit einer getrennten Auswertung zugänglich gemacht.

Messkanal Measuring Channel	Messgröße Measuring Unit
1	q Staudruck und Synchronisation Ramming Pressure and Signal for Synchronization
2	$M_x$ Torsionsmoment der Rumpfröhre Torsional Moment of the Fuselage Tube
3	$M_y$ Biegemoment der Rumpfröhre Bending Moment of the Fuselage Tube
4	$M_{br}$ Biegemoment des Flügelholms Bending Moment of the Wing Beam
5	$\ddot{x}$ Schwerpunktsbeschleunigung Forward Acceleration of the Center of Gravity
6	$\ddot{z}$ Schwerpunktsbeschleunigung Upward Acceleration of the Center of Gravity
7	$\eta$ Höhenruderstellung Angular Position of Elevator
8	$\eta_k$ Wölbklappenstellung Angular Position of Trailing-Edge Flap
9	VA/NV Variometer / Nettovariometer Variometer / Net Variometer
10	T Temperatur und Synchronwort Temperature and Signal for Synchronization
11, 12	H Höhe — Altitude
13	KOD Kodierung — Code
14, 15, 16	RAZ Rahmenzähler Marker and Counter

Abb. 3: Belegung der PCM-Kanäle

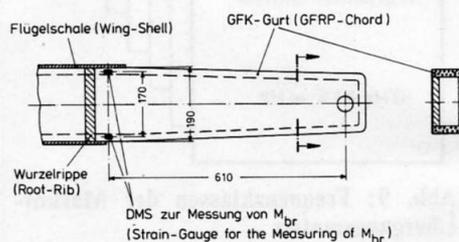


Abb. 4: Lage der DMS im Flügelanschlussbereich

Die so gewonnenen Messwerte mussten nun noch mit Hilfe von Computerprogrammen, die am Institut für Flugzeugbau und Leichtbau entwickelt wurden, in mehreren Schritten aufbereitet werden.

Nach der Synchronisation der Messwerte wurden die Daten überprüft und digital aufbereitet für eine rechnerkompatible Bandaufzeichnung, sodann wurden die seriellen Messwerte den parallelen Messgrößen zugeordnet sowie Ausreisser, d.h. offensichtliche Störgrößen, eliminiert. Der Vorgang der Digitalisierung kann an einem Beispiel aus Abb. 6 ersehen werden. Der Messbereich wird in  $2^{10} = 1024$  Klassen, die später auf 32 Klassen durch Zusammenfassung reduziert werden, eingeteilt.

Dem in diesem Klassenraster verlauf-

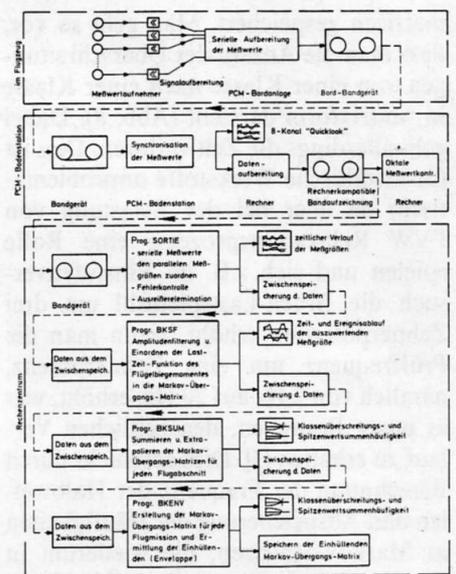


Abb. 5: Flussdiagramm zur Ermittlung des Lastkollektivs aus Flugmessungen

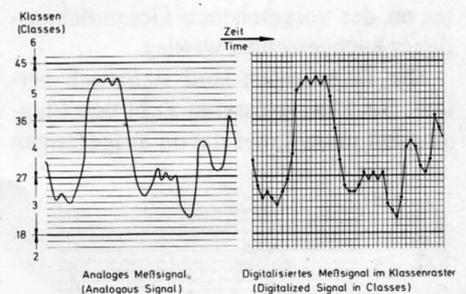


Abb. 6: Digitalisierung von Messsignalen

enden analogen Messsignal wird nach jeweils einem Zeitintervall  $\Delta t$  die zugehörige Klasse entnommen. Es entsteht damit ein digitalisiertes Messsignal. Reduziert man nun die sehr feine Klasseneinteilung mit den vielen kleinen Schwankungen (siehe Abb. 7 oben) ohne Filterung, so entsteht der gestrichelte Kurvenverlauf. Man kann nun durch Filterung (siehe Abb. 7 unten) von z.B. einer Klasse ( $DX > 1 \Delta X$ ) kleine Schwankungen um eine Klassengrenze, die zu grossen Schwingungen aufgezerrt werden würden, durch die Vorgabe der Bedingung, dass mehr als eine Klassengrenze überschritten werden muss, ehe der Wert auf den Mittelwert der reduzierten Klasse gesetzt wird, eliminieren.

Die so aufbereiteten Daten wurden nun in sogenannten Markov-Übergangs-

matrizen gespeichert. Man geht so vor, dass man die Anzahl der Überschreitungen von einer Klasse nach einer Klasse in Matrixform darstellt (Abb. 8). Dabei geht allerdings die Zeit verloren. Dies ist für metallische Werkstoffe unproblematisch; da aber bei der Belastung von FVW Relaxationsprozesse eine Rolle spielen und sich z.B. im Einstufenversuch die Bruch-Lastspielzahl um drei Zehnerpotenzen erhöht, wenn man die Prüffrequenz um eine Zehnerpotenz, nämlich von 2 Hz auf 20 Hz, erhöht, war es unser Bestreben, den zeitlichen Verlauf zu erhalten [3]. Dies geschieht durch Berechnung der Frequenz der Halbwellen und Abspeicherung der Häufigkeiten in Markov-Matrizen, die wiederum in Frequenzklassen eingeteilt sind (Abb. 9).

Da jeder Flugabschnitt nur eine begrenzte Anzahl von Flugstunden geflogen werden kann, müssen die gefundenen Häufigkeiten noch entsprechend ihrem zeitlichen Anteil des Flugabschnittes an der vorgesehenen Gesamtlebensdauer hochgerechnet werden.

Die Belastungen sind statistisch verteilt. Bei einer grösseren Zahl von Flugstunden muss daher davon ausgegangen

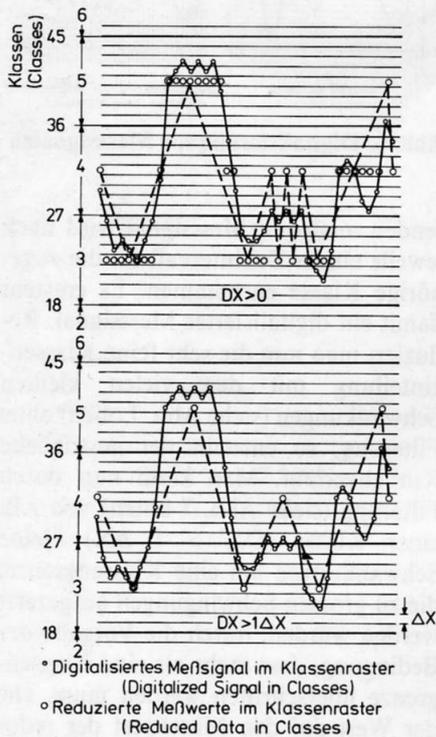


Abb. 7: Reduktion der Klassenzahl und Amplitudenfilterung des digitalen Messsignals

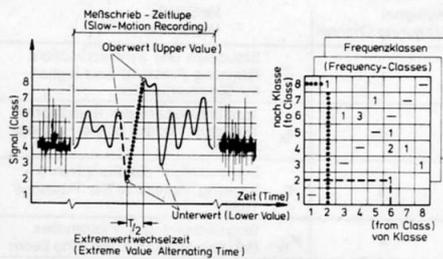


Abb. 8: Ermittlung der Markov-Übergangsmatrix aus einem Messschrieb

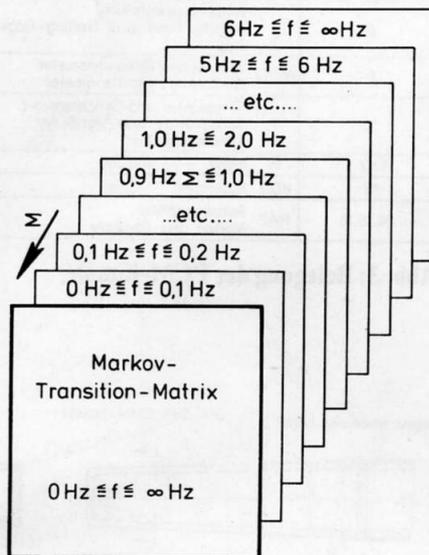


Abb. 9: Frequenzklassen der Markov-Übergangsmatrix

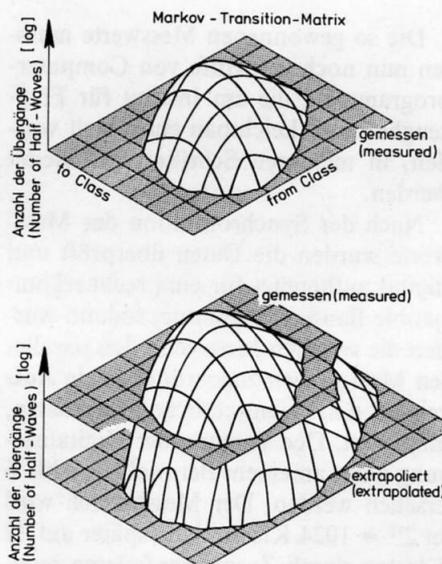


Abb. 10: Extremwertextrapolation der Markov-Übergangsmatrix

werden, dass auch grössere Extremwerte als die in der relativ kurzen Flugzeit gemessenen auftreten. Es muss deshalb noch eine Extremwertextrapolation vorgenommen werden, um die dann richtige Markov-Übertragungsmatrix zu ermitteln (Abb. 10). Ohne auf Einzelheiten weiter einzugehen, kann man sich diesen Vorgang als Straken unter Einhaltung gewisser aus der Wahrscheinlichkeitstheorie resultierender Zusammenhänge vorstellen.

Will man nun ein Gesamtlastkollektiv für Segelflugzeuge erstellen, so sind zwei Möglichkeiten denkbar.

1. Man ermittelt oder schätzt ab das zeitliche Verhältnis der einzelnen Flugabschnitte während der Lebensdauer eines Flugzeuges und bildet die Markov-Übergangsmatrix für die gewünschte Gesamtlebensdauer aus der Summe der Anteile der einzelnen Flugabschnitte. Diese kann man ja für jeden beliebigen Wert mit Hilfe der Extrapolation der gemessenen Werte bestimmen.

Das zeitliche Verhältnis der einzelnen Flugabschnitte wurde von uns in einer Fragebogenaktion für das Jahr 1979 aus etwa 1/3 der in Deutschland zugelassenen etwa 6000 Segelflugzeuge ermittelt.

Dieses Verfahren zur Bildung eines Gesamtlastkollektivs hat jedoch den Nachteil, dass je nach Verwendungszweck der Flugzeuge als Schulungs-, Übungs- oder Leistungsflugzeug die Anteile der Flugabschnitte im Einzelfall sehr unterschiedlich sind und damit bei der Festlegung der Anteile der einzelnen Flugabschnitte an der Gesamtlebensdauer ein zusätzlicher Unsicherheitsfaktor für den Einzelfall entsteht.

2. Man extrapoliert jeden Flugabschnitt auf die gewünschte Gesamtlebensdauer und bildet die Einhüllende über alle Flugabschnitte. In diesem Fall sind alle Einsatzarten des Flugzeuges über die gesamte vorgesehene Lebensdauer abgedeckt. Wir haben daher bei der Ermittlung eines neuen Lastkollektivs aus den durchgeführten Messungen diesem Verfahren den Vorzug gegeben.

Es wurden für die in Abb. 11 aufgeführten Flugabschnitte Messungen durchgeführt. Die Platzrunde setzt sich dabei aus einem Start (F-Schlepp oder Winde), einer Landung und einem Übungsfluganteil zusammen, mit einer

Flugzeit von insgesamt 10 min, so dass 6000 Stunden 36 000 Platzrunden entsprechen.

Da die Lasten zufallsverteilt sind und man daher sehr selten auftretende extreme Belastungen nicht ausschliessen kann, werden entsprechend dem im Versuch angewandten Lebensdauer-Faktor  $j_L = 3$  diese Messungen auf 18 000 Flugstunden extrapoliert und dann auf 6000

Übersicht über die Flugabschnitte und Einhüllenden (normiert auf 6000 Flugstunden)  
Survey of Flight - Phases and Envelopes (Standardized to 6000 Flight-Hours)

Code	Fluganteil Flight - Phase	Messzeit Measuring Time [h]	Einhüllende Envelope
1	Streckensegelflug Cross-Country-Flight	52,61	1,2
2	Schul- und Übungsflug School and Training Flight	8,26	
3	Alpenssegelflug Cross-Country-Flight in the Alps Mountains	27,55	3,4
4	Leewellensegelflug Lee-Wave-Flight	8,32	
5	Platzrunde Traffic-Circuit Aerotow, L	6,50	5,6
6	Platzrunde Traffic-Circuit Winch, L	1,33	
7	Kunstflug Aerobatic Flight	0,63	
8	Franzmeyer - Lastkollektiv Franzmeyer Load Spectrum (equivalent to 6000 Flight Hours)	—	

Abb. 11: Übersicht über die Flugabschnitte und Einhüllenden (normiert auf 6000 Flugstunden)

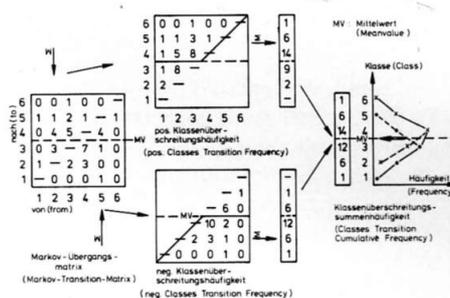


Abb. 12: Ermittlung der Klassenübergangshäufigkeit aus der Markov-Übergangsmatrix

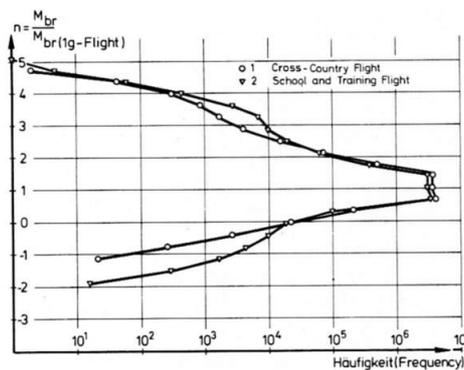


Abb. 13: Klassenübergangshäufigkeit der Flugabschnitte 1 (Streckensegelflug) und 2 (Schul- und Übungsflug)

Stunden Lebensdauer normiert. Die beim Dividieren durch 3 entstehenden gebrochenen Zahlen wurden auf die nächsthöhere ganze Zahl aufgerundet, so dass der gravierendste während 18 000 Stunden auftretende Lastwechsel nicht verlorengeht.

Da die dreidimensionalen Markov-Übergangsmatrizen wegen der schwierigen graphischen Darstellbarkeit nicht sehr anschaulich sind, kann man sie zur besseren Diskussion in eine übersichtlichere, nämlich zweidimensionale Darstellung, überführen. Die Lastwechsel werden dann als Klassenüberschreitungssummenhäufigkeit aufgetragen. In Abb. 12 ist das Verfahren an einem Beispiel schematisch demonstriert.

Die einzelnen Spalten des positiven und negativen Anteils der Markov-Übergangsmatrix werden jeweils summiert und dadurch die positive bzw. negative Klassenüberschreitungshäufigkeit gebildet. Durch Summation der einzelnen Zeilen der Matrizen mit den Klassenüberschreitungshäufigkeiten erhält man die Klassenüberschreitungssummenhäufigkeit, und zwar für den positiven wie negativen Anteil. Das so gewonnene Ergebnis ist nun zweidimensional darstellbar, wobei oberhalb des Mittelwertes die Klassenüberschreitungssummenhäufigkeit der Oberwerte und unterhalb die Klassenüberschreitungssummenhäufigkeit der Unterwerte aufgetragen sind.

Die auf diese Weise ermittelten Klassenüberschreitungssummenhäufigkeiten für den Streckensegelflug und den Schulungs- und Übungsflug sind in Abb. 13 aufgetragen. Es zeigt sich, dass der Schulungs- und Übungsflug den Streckensegelflug abdeckt. Bemerkenswert sind vor allem die grösseren negativen Lastwechsel beim letzteren.

Abb. 14 gibt die beim Alpensegelflug und dem Leewellensegelflug auftretenden Lastvielfachen wieder. Wie zu erwarten war, wird der Leewellenflug vom Alpensegelflug abgedeckt. Die Einhüllenden der Abb. 13 und Abb. 14 sind in Abb. 15 wiedergegeben. Die Einhüllende aus dem Streckensegelflug und dem Schulungs- und Übungsflug und damit vor allem der Schulungs- und Übungsflug ist ausschlaggebend für den Kurvenverlauf.

Abb. 16 zeigt die Kurvenverläufe für die Platzrunde mit F-Schlepp und die Platzrunde mit Windenstart. Hier ist es erwartungsgemäss der Windenstart, der

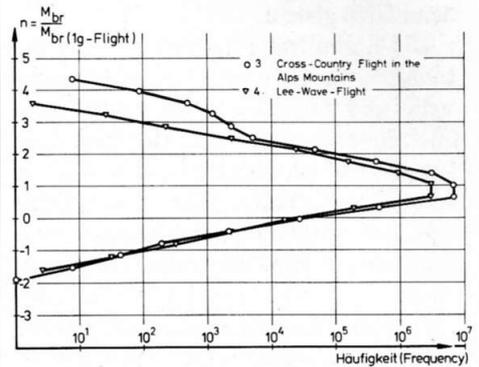


Abb. 14: Klassenübergangshäufigkeit der Flugabschnitte 3 (Alpenssegelflug) und 4 (Leewellenflug)

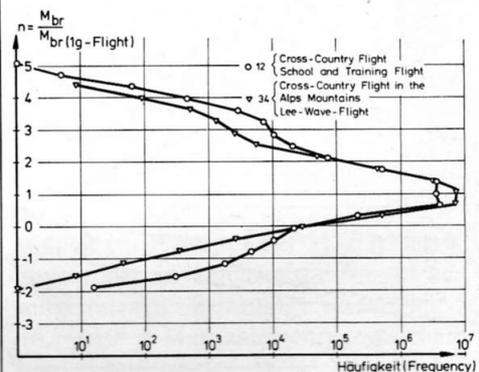


Abb. 15: Klassenübergangshäufigkeit der Einhüllenden aus den Flugabschnitten 12 und 34

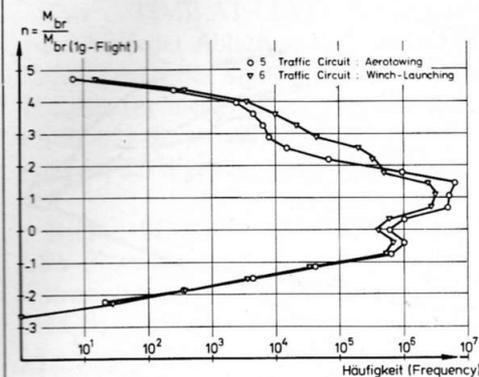


Abb. 16: Klassenübergangshäufigkeit der Flugabschnitte 5 (Platzrunde: F-Schlepp) und 6 (Platzrunde: Windenstart)

bei den höheren positiven Beanspruchungen den Ausschlag gibt und der F-Schlepp, der bei den vielen kleinen Schwingungen dominiert. Die aus der Landung resultierenden negativen Belastungen sind erwartungsgemäss in beiden Fällen gleich.

Die Einhüllende aus Abb. 15, die die Einhüllende über alle Fluganteile darstellt, und Abb. 16, die die Einhüllende über die Platzrunde bzw. alle Start- und Landarten wiedergibt, sind jeweils in Abb. 17 aufgetragen. Man erkennt deutlich, dass die Gesamteinhüllende praktisch durch die Platzrunde bestimmt wird.

In Abb. 18 ist die Gesamteinhüllende aufgetragen. Das von Thielemann/Franzmeyer für 3000 Flugstunden angegebene Kollektiv wurde auf 6000 Flugstunden erweitert und in der entspre-

chend umgerechneten Form eingetragen. Es zeigt sich, dass das Kollektiv von Thielemann/Franzmeyer recht gut mit den Ergebnissen der neuen Messungen übereinstimmt. Die grösseren positiven Werte bei kleineren Lastwechselzahlen resultieren bei Thielemann/Franzmeyer aus der Annahme grösserer Böenlasten während des Vorfluges. Die von uns gemessenen grösseren negativen Werte bei hohen Lastwechseln resultieren offensichtlich aus einem stärkeren Einfluss des Flügelgewichtes beim Rollen mit kleinen Geschwindigkeiten.

In das Diagramm ist noch der Verlauf der Klassenüberschreitungssummenhäufigkeit für den einfachen Kunstflug, d.h. mit nur positiven Belastungen, eingetragen. Da aber die diesem Kurvenverlauf zugrunde liegende Kunstflugzeit nur 0,63 Stunden betrug, kann dieser Kurve keine Bedeutung beigemessen werden. Wir hoffen, dass es im Herbst dieses Jahres möglich sein wird, über eine grössere Kunstflugzeit Messungen durchzuführen, um so über den Einfluss des Kunstfluges auf die Gesamteinhüllende genauere Aussagen machen zu können.

Zusammenfassend kann man feststellen: Die mit Hilfe eines Segelflugezeuges vom Typ «Janus» im Sommer 1980 in Flugversuchen ermittelten Messwerte wurden nach den neuesten Erkenntnissen ausgewertet und führten zu der Ermittlung von Lastkollektiven für die einzelnen Flugabschnitte. Die ermittelte Einhüllende, ohne Berücksichtigung eines Kunstfluganteils, für 6000 Flugstunden weicht vom bisher in Deutschland geltenden Lastkollektiv nicht gravierend ab.

Entsprechend der Darstellung auf der unteren Hälfte in Abb. 2 besteht nun die Aufgabe darin, für den heute üblichen Flügel- bzw. Holmaufbau das zulässige Spannungsniveau bei vorgegebener Lebensdauer in Random-Versuchen zu bestimmen. Am IFL wird daran unter Zuhilfenahme der ermittelten Markov-Übergangsmatrizen gearbeitet.

#### Literatur

[1] Kaul, H.W., Die erforderliche Zeit- und Dauerfestigkeit von Flugzeugtragwerken, DVL-Jahrbuch, 1938, S. 195-209.

[2] Thielemann, W./Franzmeyer, F.K., Statische und dynamische Festigkeitsuntersuchungen an einem Tragflügel des Segelflugezeuges «Cirrus».

Inst. f. Flugzeugbau und Leichtbau der TU Braunsch., 1969, Bericht-Nr. 69-02

[3] Hilling, B., Frequenz- und (oder) Temperatureinfluss bei Wöhler-Versuchen an CFK-Probestäben. DGLR-Symposium, Darmstadt 1978, DGLR-Nr. 78-178

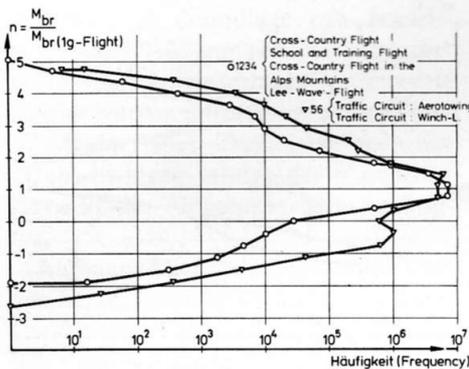


Abb. 17: Klassenüberschreitungssummenhäufigkeit der Einhüllenden aus den Flugabschnitten 1234 und 56

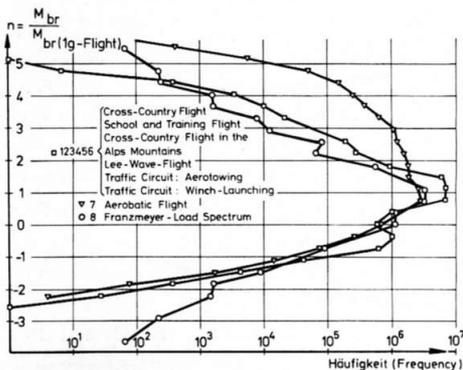


Abb. 18: Klassenüberschreitungssummenhäufigkeit der Einhüllenden aus den Flugabschnitten 123456 sowie des Kunstfluges im Vergleich zum Lastkollektiv nach [2]

## Zusammenfassung

Durch die starke Steigerung der aerodynamischen Güte der Segelflugezeuge sowie die grössere Übung der Piloten hat sich der Flugstil wesentlich geändert. Daher galt es, unter Anwendung moderner Verfahren das bestehende Lastkollektiv aus dem Jahre 1969 zu überprüfen. Dazu wurde ein Segelflugezeug des Typs «Janus» von der DFVLR als Messflugezeug mit einer PCM-Anlage und den benötigten Messwertaufnehmern ausgerüstet, und gemeinsam mit dem Institut für Flugzeugbau und Leichtbau der TU Braunschweig wurden Messflüge zur Bestimmung der auftretenden Lasten durchgeführt.

Die auf Magnetbändern gespeicherten Belastungen wurden mit Hilfe eines Rechners für die Weiterverarbeitung aufbereitet und die Häufigkeit der Beanspruchungsübergänge in Markov-Übergangsmatrizen abgespeichert. Durch die Einführung von Frequenzklassen gelang es, auch den zeitlichen Verlauf der Belastungen zu erfassen. Da zu den einzelnen Flugabschnitten (Start, Landung, Streckensegelflug, Schulungsflug usw.) nur eine begrenzte Anzahl von Flugstunden geflogen werden konnten, mussten die gefundenen Häufigkeiten noch entsprechend ihrem vorgesehenen Lebensdaueranteil hochgerechnet und Extremwert-Extrapolationen vorgenommen werden.

Das Gesamtlastkollektiv kann dann ermittelt werden entweder aus der Summation der einzelnen Missionsanteile an der Gesamtlebensdauer oder durch die Normierung jeder Mission auf eine vorgegebene Lebensdauer und Überlagerung der einzelnen Kollektive unter Ermittlung des Envelops als Gesamtlastkollektiv.