

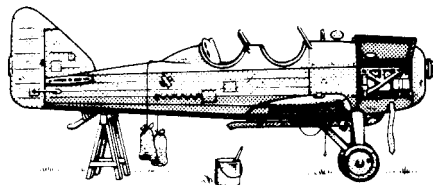
Technik**Masse und Schwerpunkt**

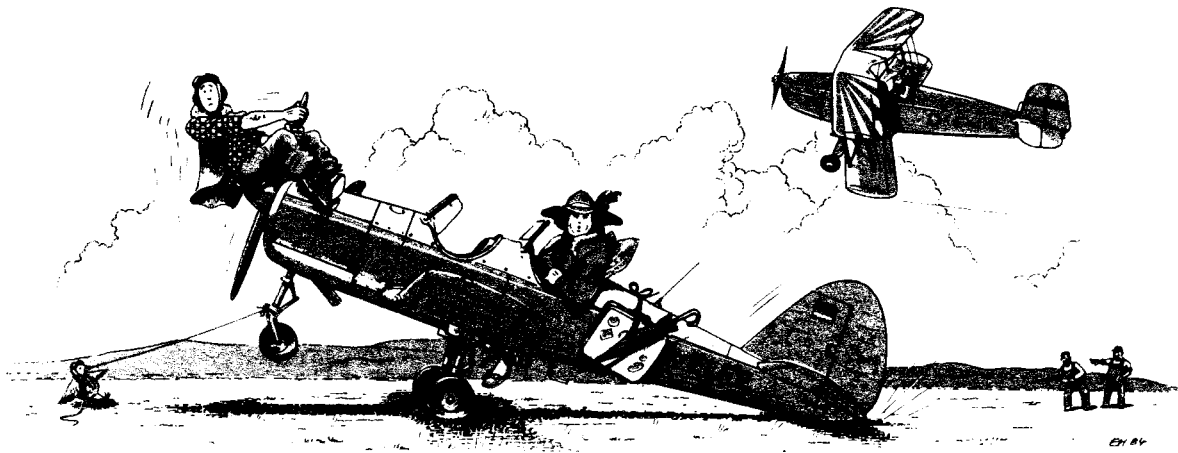
Braunschweig, den 25. 03. 85
LBA 111 32 - 985.1/84

Masse und Schwerpunkt

In der heutigen Zeit ist Wirtschaftlichkeit zu einem bedeutenden Faktor geworden. Es ist deshalb auch verständlich, daß danach gestrebt wird, Sitz- und Zuladungskapazität der Flugzeuge, „optimal“ auszunutzen. Das darf jedoch nicht dazu führen, daß ein Flugzeug bis über die zulässigen Grenzen hinaus beladen wird. Gerade aber bei ein- und kleineren zweimotorigen Flugzeugen sind die Grenzen von Zuladung und Schwerpunktlage sehr schnell erreicht.

Aus Sicherheitsgründen ist es deshalb erforderlich, vor jedem Flug die Abflugmasse und die Schwerpunktlage genau zu berechnen, ganz abgesehen davon, daß dies nach § 3a LuftVO sowieso zu den unbedingten Pflichten des verantwortlichen Luftfahrzeugführers gehört.





„Gewicht" oder „Masse"?

Bereits im Jahre 1980 wurde die DIN-Norm 9020 eingeführt. Von diesem Zeitpunkt an sind alle Flugzeuge praktisch „gewichtslos" geworden, weil

die bisher geläufigen Gewichtsbegriffe durch Massebegriffe ersetzt wurden. Das folgende Schaubild, das der DIN-Norm 9020 entnommen ist, zeigt die „neuen" Massebegriffe.

Massehauptgruppen und Massebegriffe

Nr	Massehauptgruppen	Massebegriffe — Kurzzeichen							
1	Struktur	Standard-Leerm. m_{LST} (Hersteller-Leermasse)	Leermasse m_L	Grundmasse m_G	Betriebsleermasse m_{BL}	Leertankmasse m_{Lt}	Flügel-Leertankmasse m_{FLt}	Startmasse m_{ST}	Rollmasse m_{Rroll}
2	Antriebsanlage								
3	Standardausrüstung								
4	Masseabweichungen								
5	Sonderausrüstung (feste Einsatzrüstung)								
6	Bewegliche Einsatzrüstung	Zuladung L_Z	Betriebsladung L_B	Freiladung L_F (verfügbare Ladung L_y)					
7	Besatzung und Dienstlast								
8	Nutzlast								
9	Betriebsstoffe								Einspritzflüssigkeit
10		Kraftstoff in Innenbehältern und in Außenbehältern am Rumpf							
11		Kraftstoff in Flügelbehältern und in Außenbehältern am Flügel							
12	Rollkraftstoff								
Betriebsmasse + Betriebsstoffe (ausschließlich Rollkraftstoff) = Betriebsmasse Der Gesamtschmierstoff sowie die Kraftstoff- und Einspritzflüssigkeitsreste sind in der Massehauptgruppe Antriebsanlage enthalten.									

(Abbildung 1)

Zwischen Masse und Gewicht besteht eine enge Verbindung. Die Masse eines Körpers drückt sich praktisch in seinem Gewicht aus, also in der Kraft, mit der dieser Körper auf seine Unterlage einwirkt. Um von der Masse eines Körpers zu seinem Gewicht (Kraft) zu gelangen, muß die Masse mit der Erdbeschleunigung g multipliziert werden.

$$\text{Masse} \times \text{Erdbeschleunigung} = \text{Gewicht} \quad (m \cdot g = G)$$

Wirkt auf einen Körper mit der Masse 1 kg die Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, so hat dieser Körper ein Gewicht von:

$$(1 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 9,81 \text{ kg m/s}^2 = 9,81 \text{ N (Newton)})$$

Für 9,81 N kann näherungsweise 10 N geschrieben werden. Dadurch ergibt sich die vertretbar vereinfachte Umrechnung des bisherigen „Gewichts" in die neue „Kraft"-Dimension: $1 \text{ kg} = 10 \text{ N}$ bzw. 1 daN (Deka-Newton). Diese Genauigkeit reicht für die Berechnung der Masse und der Schwerpunktlage im Bereich der Allgemeinen Luftfahrt aus.

Höchstzulässige Massen eines Luftfahrzeugs - Grenzwerte der Festigkeit

Jedes Flugzeug kann aufgrund seiner vom Konstrukteur unter Berücksichtigung der Materialfestigkeit bestimmten Bauweise (Struktur) nur bis zu einem gewissen Grenzwert belastet werden. Ein Überschreiten dieses Grenzwertes muß daher grundsätzlich vermieden werden! Erste Schäden an der Struktur sind oftmals nur schwer zu entdecken. Es sind vielfach winzige Haarrisse, welche sich infolge von Belastung vergrößern und schließlich zum Bruch wichtiger Bauteile führen können. Je größer die Masse aufgrund der Zuladung wird, desto höher wird auch die Beanspruchung der Struktur. Dies gilt erst recht für alle Flugzustände, bei denen sich die Last vervielfacht, wie z. B. Abfangen oder Kurvenflug. Für ein Flugzeug gibt es hinsichtlich der Struktur drei wichtige Massengrößen, welche niemals überschritten werden dürfen.

Diese sind:

1. Die höchstzulässige Startmasse
2. Die höchstzulässige Landemasse
3. Die höchstzulässige Leertankmasse

Diese Größen werden bei der Musterzulassung als Betriebsgrenzen festgelegt und in der Betriebsanweisung des entsprechenden Luftfahrzeugs sowie im Gerätekenntblatt eingetragen.

Die höchstzulässige Start- und die höchstzulässige Landemasse sind vom Zahlenwert her oftmals identisch.

Unter der höchstzulässigen Leertankmasse versteht man die Masse des beladenen Flugzeugs ohne Kraftstoff in den Tanks. Dieser Wert stellt hinsichtlich der Flugzeugkonstruktion ein wichtiges Grenzmaß dar, ist aber in vielen Flughandbüchern der kleinen Flugzeuge bis max. 2000 kg Startmasse nicht ausgewiesen. In diesem Fall ist die strukturelle Sicherheit dieses Baumusters dann gewährleistet, wenn die höchstzulässige Start- und die höchstzulässige Landemasse eingehalten werden.

Zulässige Massen eines Luftfahrzeugs - Grenzwerte der Flugleistung

Die Masse eines Luftfahrzeugs wirkt sich nicht nur auf die Struktur, sondern auch auf die Flugleistungen aus.

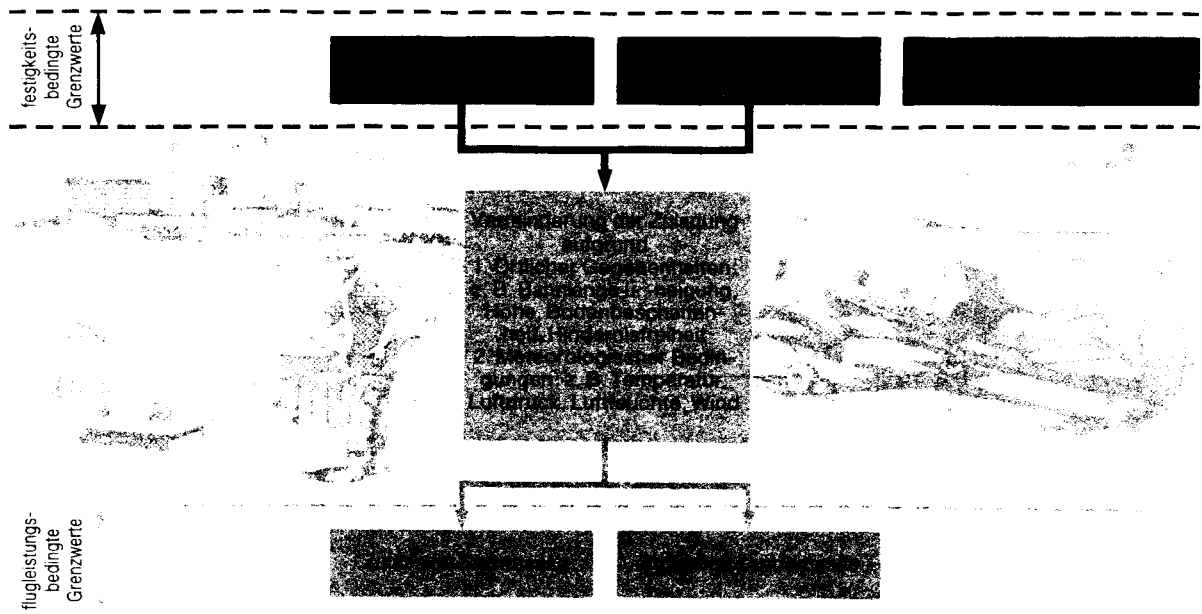
Mit zunehmender Masse ändern sich die Flugleistungen wie folgt:

- die Startstrecke wird verlängert - der Steigwinkel wird flacher
- die Steiggeschwindigkeit wird kleiner - der Kurvenradius wird vergrößert - die Landerollstrecke wird verlängert

Die Leistungsangaben, die Sie im Flughandbuch ausgedrückt finden, beziehen sich stets auf die höchstzulässige Start- bzw. höchstzulässige Landemasse. Zahlreiche Flugzeugführer fliegen jedoch nur selten oder gar nicht mit einem bis zu diesen Grenzwerten beladenen Flugzeug. Diese Piloten sind dann auch bessere Flugleistungen von ihrer Maschine gewohnt, als sie im Flughandbuch ausgewiesen werden.

Wenn Sie also zu der oben genannten Gruppe von Flugzeugführern gehören, dann sollten Sie vor dem Start mit einem bis zur höchstzulässigen Startmasse beladenen Flugzeug daran denken, daß sich die Flugleistung hinsichtlich der vorher erwähnten Punkte verändert.

Örtliche Gegebenheiten des Flugplatzes wie Bahnlänge und -neigung, Höhe, Bodenbeschaffenheit, Hindernisfreiheit usw. oder meteorologische Bedingungen wie Wind, Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchte können einen so ungünstigen Einfluß ausüben, daß mit einem bis zur höchstzulässigen Startmasse beladenen Flugzeug kein sicherer Start mehr durchzuführen ist. (Ähnliches gilt auch für die Landung mit höchstzulässiger Landemasse). In einem solchen Fall muß die Zuladung (Nutzlast oder Betriebsstoffe) verringert werden, um sicher in die Luft bzw. wieder auf den Boden zu kommen. Die aus den genannten Gründen um einen bestimmten Masseanteil der Zuladung verringerte Start- bzw. Landemasse wird zulässige Start- bzw. Landemasse genannt. Die höchstzulässige Leertankmasse hingegen stellt einen unwandelbaren Grenzwert dar! Das folgende Schaubild verdeutlicht den Zusammenhang.



Der Schwerpunkt

Nicht nur die Masse eines Luftfahrzeugs selbst hat Einfluß auf das Flugverhalten, sondern auch ihre Verteilung.

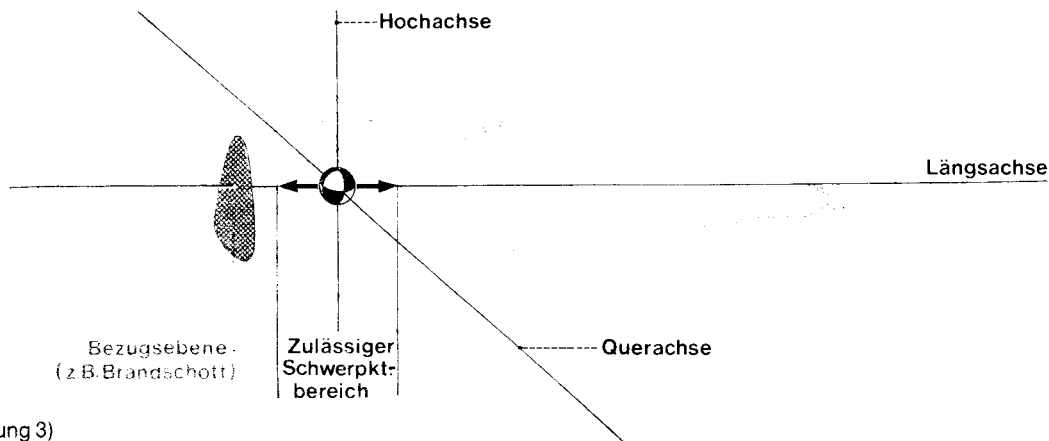
Die Verteilung der Masse bestimmt die Lage des Schwerpunktes. Der Schwerpunkt eines Flugzeugs ist die Stelle (geometrischer Ort), in welchem man sich die Gesamtmasse des Flugzeugs vereint vorstellen kann (Massenmittelpunkt). Würde man das Flugzeug in diesem Punkt frei aufhängen oder unterstützen, so würde es jede beliebige Lage beibehalten.

Alle drei Achsen des Flugzeugs (Hoch-, Längs- und Querachse) schneiden sich im Schwerpunkt, wobei

die einzelnen Achsen rechtwinklig zueinander stehen.

Bei Änderung der Fluglage dreht sich das Flugzeug immer um eine oder mehrere dieser Achsen und somit um den Schwerpunkt.

Um die genaue Position des Schwerpunktes beschreiben zu können, wird der Abstand zu einer Bezugsebene angegeben, deren Lage vom Flugzeughersteller festgelegt worden ist. Entsprechend der Verteilung der Zuladung ändert sich auch der Abstand des Schwerpunktes zu der Bezugsebene, jedoch darf diese Verschiebung nur innerhalb bestimmter Grenzen erfolgen!



(Abbildung 3)

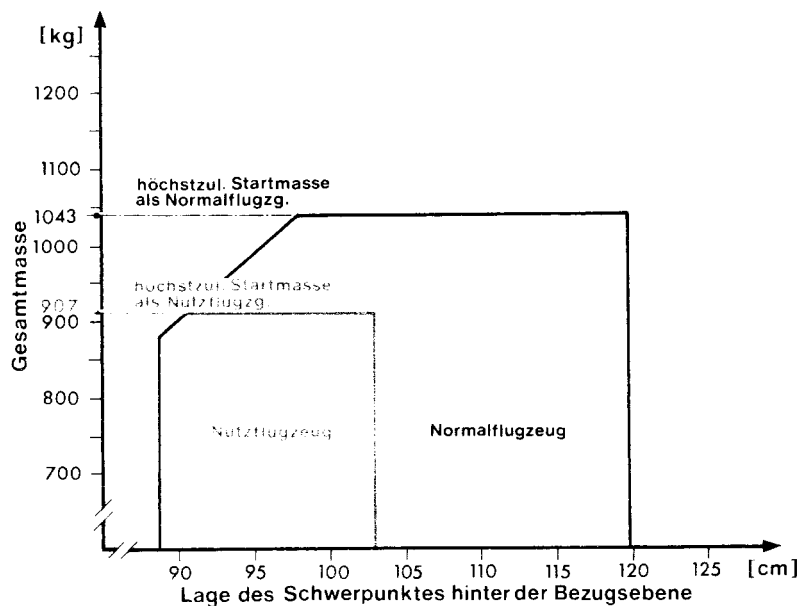
Für jedes Flugzeugmuster sind die zulässigen Schwerpunktgrenzlagen im Flughandbuch aufgezeigt. Dabei wird zwischen Normal- und Nutzflugzeug unterschieden.

Der Lufttüchtigkeitsgruppe „Normalflugzeuge“ entsprechen alle Flugzeuge, die nicht zur Durchführung von Kunstflug ausgelegt sind. Flugzeuge hingegen, die in die Lufttüchtigkeitsgruppe "Nutzflugzeuge" eingestuft sind, dürfen beschränkten Kunstflug ausführen.

Die einzelnen Manöver, welche in den genannten Lufttüchtigkeitsgruppen geflogen werden dürfen, sind je nach Luftfahrzeugmuster unterschiedlich und können dem entsprechenden Flughandbuch entnommen werden.

Wollen Sie ein Luftfahrzeug in der Kategorie „Nutzflugzeug“ betreiben, so beachten Sie dabei, daß die Grenzen für Masse- und Schwerpunktlage erheblich enger bemessen sind.

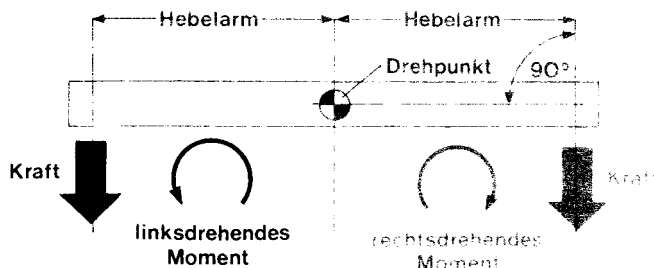
Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel der graphischen Darstellung der zulässigen Grenzlagen, wie sie in vielen Flughandbüchern zu finden ist.



Kräfte und Momente

Während des Fluges wirken mehrere Kräfte und Momente auf das Flugzeug ein. Bevor wir uns diesen im einzelnen zuwenden, wollen wir zunächst einmal ganz allgemein ein Drehmoment betrachten. Es entsteht dadurch, daß eine Kraft (keine Masse!) auf einen Körper einwirkt und diesen um einen

bestimmten Punkt dreht. Multipliziert man nun diese Kraft mit dem senkrecht dazu stehenden Abstand zum entsprechenden Drehpunkt, dem sog. Hebelarm, so erhält man als Ergebnis ein Moment. Momente können sowohl links- als auch rechtsdrehend sein. Ein einfacher Waagebalken veranschaulicht dies recht deutlich.



Wollen Sie mit einer vorgegebenen Masse ein Drehmoment errechnen, so muß - wie bereits erwähnt - diese Masse zunächst mit einer

Beschleunigung multipliziert werden, um zu einer Kraft zu gelangen

Es gilt also:

$$\text{Moment} = \text{Kraft} \times \text{Hebelarm}$$

bzw.

$$\text{Moment} = \text{Masse} \times (\text{Erd-}) \text{ Beschleunigung} \times \text{Hebelarm}$$

Zurück zum Flugzeug

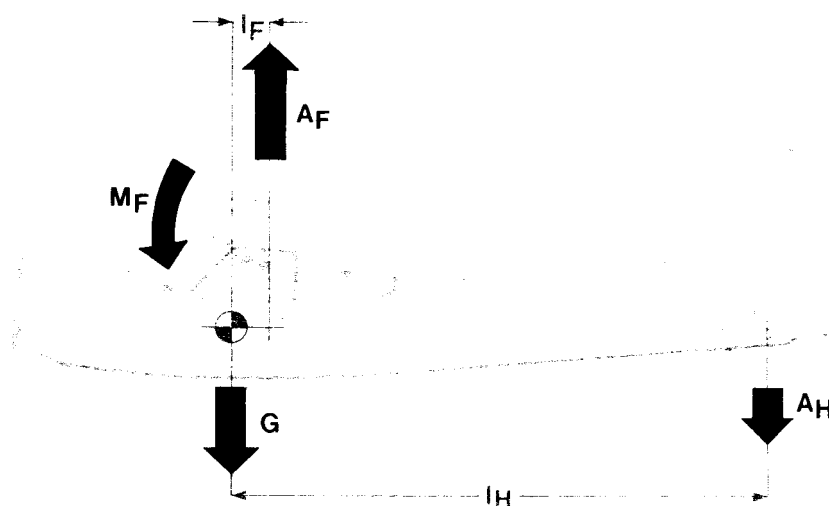
Der Auftrieb am Tragflügel (A_F) und der Abtrieb am Höhenleitwerk (A_H) haben einen bestimmten Abstand zum Schwerpunkt des Flugzeugs und bewirken somit jeweils ein Drehmoment.

Größe und Drehrichtung siede sogenannten "Nick- oder Flügeldrehmoment" (M_F) hängen von einem von der Bauart und zum anderen vom Staudruck ($q = 3/2 \rho v^2$) also dem Quadrat der Fluggeschwindigkeit ab. Für unsere folgende Betrachtung gehen wir davon aus, daß das erzeugte Nickmoment kopflastig ist, was in aller Regel auch tatsächlich ist.

Die aus der Gesamtmasse des Flugzeugs resultierende Kraft greift immer im Schwerpunkt an! Diese Kraft (Massenkraft G) erzeugt also kein Moment, da der Schwerpunkt auch gleichzeitig Drehpunkt ist.

Ebenso kann der Einfluß von Schub und Widerstand vernachlässigt werden. Das folgende Bild zeigt die wesentlichen Kräften und Momente, wie sie im stationären Horizontalflug auftreten.

Der Tragflügel erzeugt wohl in erster Linie den Auftrieb, er bewirkt aber auch ein Drehmoment. Die



G = Massenkraft

A_F = Auftrieb am Tragflügel

A_H = Abtrieb am Höhenleitwerk

M_F = Nickmoment

l_F = Hebelarm: Schwerpunkt-Auftrieb am Tragflügel

l_H = Hebelarm: Schwerpunkt-Abtrieb am Höhenleitwerk

Damit das Flugzeug nicht steigt oder sinkt, muß der Auftrieb A_F des Tragflügels die nach unten wirkende Massenkraft G und die ebenfalls nach unten gerichtete Abtriebskraft A_H des Höhenleitwerks kompensieren.

$$A_F = G + A_H$$

Dieses Kräftegleichgewicht allein genügt allerdings nicht, um das Flugzeug in der Horizontalen zu halten. Damit keine Drehung um die Querachse (die ja durch den Schwerpunkt verläuft) erfolgt, müssen sich auch alle auf das Flugzeug wirkende Momente gegenseitig aufheben!

Versieht man nun die linksdrehenden (kopflastigen) Momente mit einem negativen und die rechtsdrehenden (schwanzlastigen) Momente mit einem positiven Vorzeichen, so können Sie schreiben:

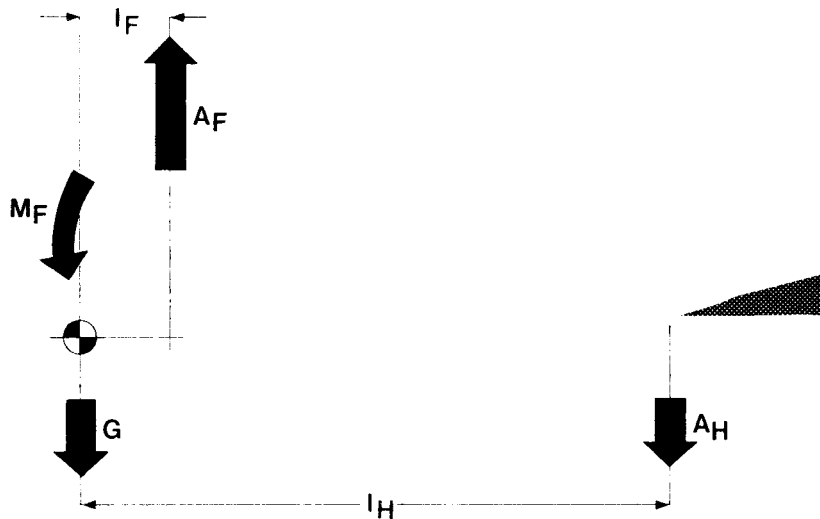
$$- A_F \times l_F \quad - M_F + \quad A_H \times l_H \quad = 0$$

kopf-
kopf-
schwanz-
lastig
lastig
lastig

Da wir für unsere Betrachtungen das Nickmoment M_F als kopflastig annehmen, muß das Höhenleitwerk somit eine Abtriebskraft liefern. Diese Kraft dient der Erzeugung eines schwanzlastigen Moments, um die beiden kopflastigen Momente (M_F und $A_F \cdot l_F$) ausgleichen zu können.

Vordere Schwerpunktlage

Verteilen wir die Zuladung unseres Flugzeuges so, daß der Schwerpunkt weit nach vorne rückt, dann ändern sich auch die Momente um den Schwerpunkt (siehe Abb. 7).



Die Hebelarme der Auftriebskraft des Tragflügels (l_F) und der Abtriebskraft des Höhenleitwerks (l_H) werden zwar um dieselbe Länge vergrößert, das kopflastige Moment $A_F \times l_F$ erhöht sich jedoch bedeutend stärker als das schwanzlastige Moment $A_H \times l_H$. Dieser kopflastigen Tendenz kann nur dadurch entgegengewirkt werden, daß die Abtriebskraft am Höhenleitwerk vergrößert wird! Für die Praxis bedeutet das, daß mit nach oben ausgeschlagenem Höhenruder geflogen werden muß, um das Flugzeug in der Horizontalen zu halten.

Eine extrem vordere Schwerpunktlage bewirkt also:

1. Der verfügbare Bereich des Höhenruderausschlags ist eingeschränkt, da ein bestimmter Ausschlag nach oben (in Richtung "Ziehen") bereits für den stationären Horizontalflug notwendig ist.
2. Der Anstellwinkel für den stationären Horizontalflug wird größer, was auch zu einer Vergrößerung des Widerstandes führt. Das Flugzeug wird langsamer.

Für den Piloten bedeutet das:

- a) Das Abheben beim Start wird erschwert (wenn nicht gar unmöglich) und das nachfolgende Steigen verschlechtert.
- b) Das Flugzeug „überzieht“ bereits bei höheren Geschwindigkeiten! Der Anstellwinkel, bei welchem die Strömung abzureißen beginnt, wird schneller erreicht, da schon im Reiseflug mit einem erhöhten Anstellwinkel geflogen werden muß.
- c) Bei der Landung kann unter Umständen nur noch unzureichend abgefangen werden, was zu einer Bugradlandung führt. Zelle und Bugrad werden beim Aufsetzen überbeansprucht!

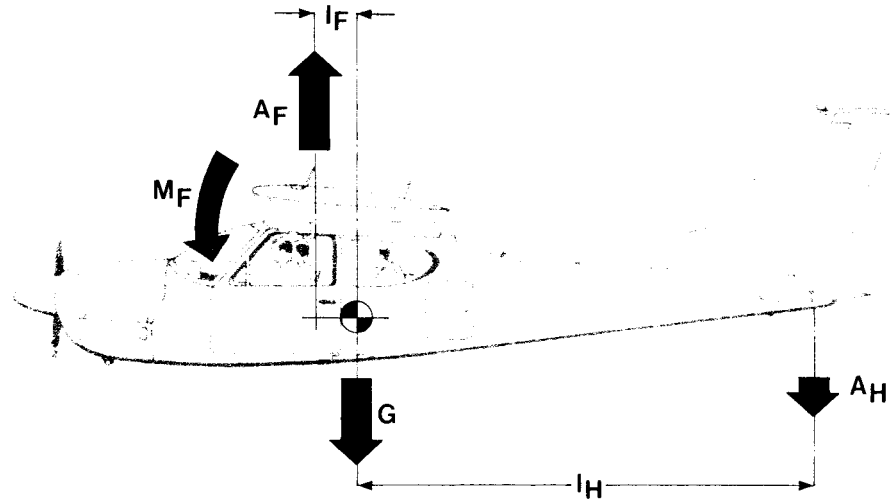
Hintere Schwerpunktlage

Damit ein Flugzeug „fliegbar“ ist, genügt es nicht, daß die Momente um den Schwerpunkt und die Kräfte ausgeglichen sind, sondern es muß zusätzlich auch stabil sein.

Ein Flugzeug ist dann stabil, wenn es nach einer

Störung selbständig wieder in seine ursprüngliche Lage zurückkehrt.

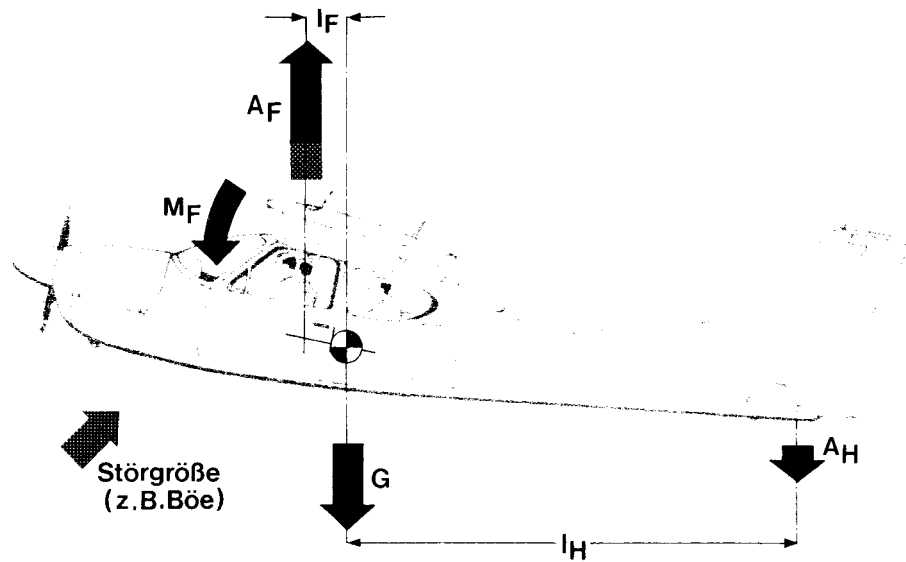
Um den Einfluß der Schwerpunktlage auf die Stabilität zu verdeutlichen, nehmen wir eine Beladung unseres Flugzeugs an, bei der die hintere zulässige Schwerpunktlage überschritten wird (Abbildung: 8).



Das bei vorderer Schwerpunktlage kopflastige Moment $A_F \times I_F$, gebildet aus der Auftriebskraft A_F und dem entsprechenden Hebelarm I_F wird nun, da der Auftrieb vor dem Schwerpunkt angreift, schwanzlastig! Wir müssen also für das Momentengleichgewicht schreiben:

$+A_F \times I_F +$	$A_H \times I_H$	$- M_F = 0$
schwanz-	schwanz-	kopf-
lastig	lastig	lastig

Wird das Flugzeug nun beispielsweise von einer Böe erfaßt und schwanzlastig um seinen Schwerpunkt gedreht, so vergrößert sich der Anstellwinkel α (Abbildung: 9).



Da sich mit zunehmendem Anstellwinkel die Auftriebskraft A_F erhöht, vergrößert sich damit auch das schwanzlastige Moment $A_F \times l_F$. Das kopflastige Flügeldrehmoment M_F verringert sich jedoch (bei üblichen Profilen).

Diese beiden bisher genannten Änderungen bewirken, daß die durch eine Störung hervorgerufene aufbäumende Bewegung noch verstärkt wird. Lediglich ein noch stärkerer in kopflastiger Richtung sich änderndes Moment könnte das Flugzeug wieder in seine Ausgangslage zurückbringen. Übrig bleibt dafür nur noch die Verringerung des Abtriebes am Höhenruder. Durch die hintere Schwerpunktlage ist der Hebelarm l_H jedoch soweit verkürzt worden, daß diese Momentenänderung nicht ausreicht, das in Richtung schwanzlastig aus seiner Ruhelage gebrachte Flugzeug wieder zurückzudrehen.

Das Flugzeug ist instabil und damit nicht mehr steuerbar.

Für den Piloten bedeutet eine hintere Schwerpunktlage:

- Während des Startlaufs wird ein zusätzliches Drücken erforderlich
- Es besteht die Gefahr, daß zu früh abgehoben und dadurch überzogen wird.

Schwerpunktlagen außerhalb der zulässigen Grenzen verändern also, wie wir gezeigt haben, die Flugeigenschaften und machen ein sicheres Fliegen unmöglich.

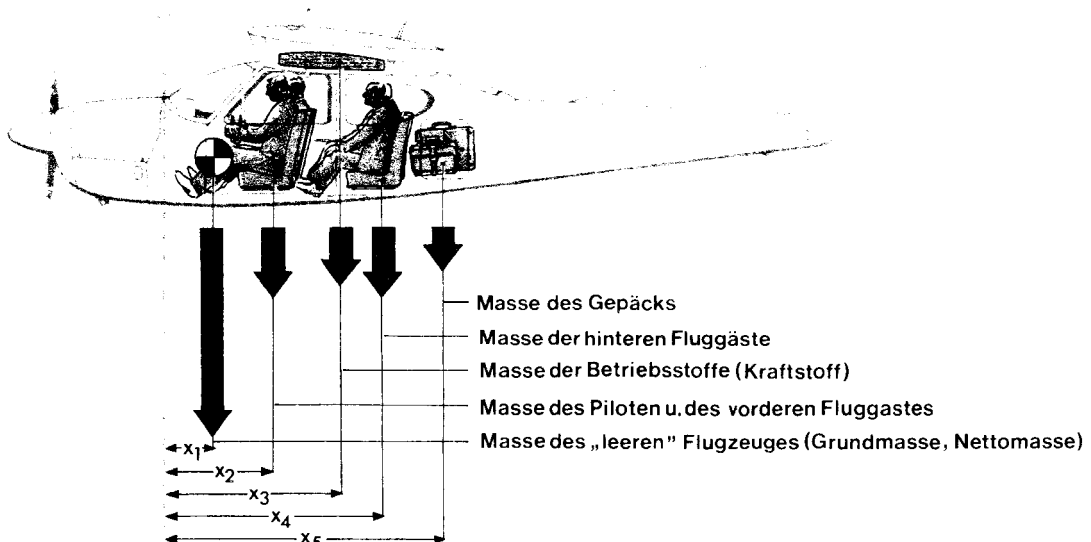
Gesamtmasse des Flugzeugs und zugehöriges Moment

Damit bei der Bestimmung der Lage des Schwerpunkts für das beladene Flugzeug die Drehmomente -- hervorgerufen durch die einzelnen Masseanteile - nicht unterschiedlich mit negativen oder positiven Vorzeichen versehen werden müssen, ist - wie bereits erwähnt - vom Flugzeughersteller eine Bezugsebene festgelegt worden.

Diese Bezugsebene liegt in der Regel so weit vorne, daß in Bezug auf sie alle Masseanteile Drehmomente mit demselben Drehsinn bewirken und so mit einem positiven Vorzeichen versehen werden können. Alle Hebelarme werden für unsere Rechnung von dieser Bezugsebene aus gemessen.

Anmerkung

Bei einigen Flugzeugmustern gibt es Masseanteile, die noch vor der Bezugsebene liegen (z. B. Masse des Öls). Das entsprechende Moment ist dann mit einem negativen Vorzeichen zu versehen.



Den größten Anteil liefert die Masse des betriebsbereiten Flugzeugs ohne Zuladung und ohne Kraftstoff. Laut DIN 9020 ist es die Grundmasse (m_G); in den Flughandbüchern finden wir hierfür jedoch auch andere Bezeichnungen wie z. B. "Nettomasse". Ihren Wert, der bei der letzten Wägung des

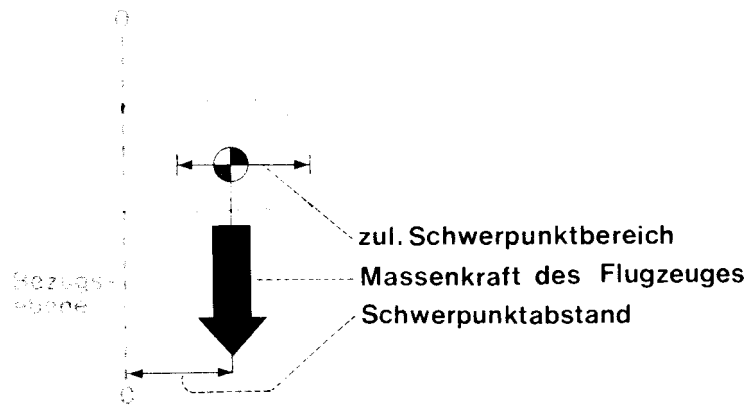
Flugzeugs bestimmt worden ist (und der somit unveränderlich festliegt), findet man ebenso wie den zugehörigen Abstand von der Bezugsebene im Flughandbuch, zum Teil bereits als Moment.

Für jeden weiteren Masseanteil der Zuladung (Gepäck, Betriebsstoffe, Passagiere) ist deren

Abstand zur Bezugsebene zur Ermittlung des jeweiligen Drehmoments angegeben.

Recht häufig sind aber auch bereits Diagramme dargestellt, aus denen das Moment direkt abgelesen werden kann.

Addiert man die einzelnen Masseanteile, so erhält man die Gesamtmasse. Die hieraus resultierende Massenkraft G greift im Schwerpunkt des Flugzeugs an. Wird nun diese Massenkraft mit dem Schwerpunktabstand zur Bezugsebene multipliziert, so erhält man ein Drehmoment, das nur innerhalb bestimmter Grenzen liegen darf (siehe Abbildung 15).



Ein wichtiger Hinweis

Zur Schwerpunktberechnung muß stets der Beladungszustand zugrunde gelegt werden, den das Flugzeug beim Start auch tatsächlich haben wird. Liegt der Schwerpunkt bei einem bis zur höchstzulässigen Startmasse beladenen Flugzeug im zulässigen Bereich, so ist das keine Garantie dafür, daß der Schwerpunkt bei einer Änderung des Beladungszustandes ebenfalls im zulässigen Bereich liegen muß.

Es gibt Flugzeugmuster, die mit vier Personen an Bord und vollen Kraftstofftanks wohl eine zulässige Schwerpunktlage aufweisen. Mit nur einer Person an Bord und vollen Kraftstofftanks hingegen wird die vordere Schwerpunktgrenzlage bereits überschritten! (Diese Eigenschaft kann beispielsweise durch den nachträglichen Einbau von Avionikgeräten im vorderen Rumpfteile herbeigeführt worden sein.) Flugzeugführer, die ihre Maschinen chartern, sollten noch an einen weiteren Punkt denken: Flugzeuge vom selben Muster und Baujahr können sowohl mit Standard- als auch mit Langstreckentanks ausgerüstet sein. Dieser Unterschied in der Ausrüstung wirkt sich natürlich auch auf die Schwerpunktlage aus.

Sehen Sie sich darum vor Antritt des Fluges das Flughandbuch des entsprechenden Musters an und entnehmen Sie die Werte für die Grundmasse und das entsprechende Moment dem letzten gültigen Wägungsnachweis!

Praktisches Beispiel

Genug der grauen Theorie, wenden wir uns nun der Praxis zu. Um Ihnen die Flugvorbereitung hinsichtlich der Massen- und Schwerpunktberechnung zu erleichtern, sind in den meisten Flughandbüchern Tabellen ausgedruckt. Sie brauchen also lediglich die Massen der einzelnen Zuladungsanteile und die entsprechenden Momente einzutragen und zu addieren. Mit dem errechneten Moment und der Gesamtmasse gehen Sie nun in das Diagramm der Schwerpunktgrenzlagen (Abb. 15) und kontrollieren, ob sich der Schwerpunkt innerhalb der zulässigen Grenzen befindet. Die „Grund-“ oder „Nettomasse“ des Flugzeugs - oder wie immer die Bezeichnung auch lauten mag - und das zugehörige Moment sind im Wägungsnachweis des Luftfahrzeugs eingetragen.

Nachfolgend ein Rechenbeispiel anhand des Flughandbuches

eines weit verbreiteten einmotorigen, viersitzigen Flugzeugmusters.

Unser Flugzeug sei mit Standardtanks ausgerüstet und soll als „Normalflugzeug“ geflogen werden.

Im Abschnitt „Betriebsgrenzen“ des Flughandbuches suchen wir zunächst die höchstzulässigen Massen und das maximale Fassungsvermögen für den Kraftstoff heraus (siehe Abbildung 12).

Aus dem letzten gültigen Wägungsnachweis entnehmen wir noch die Grundmasse und das zugehörige Moment. In unserem Fall beträgt die Grundmasse 662 kg und das Moment 663 daNm.

Außer dem Piloten nehmen zwei Passagiere am Flug teil, die auch Gepäck dabeihaben. Zur Berechnung des Beladungszustandes benutzen wir die im Flughandbuch vorgedruckte Tabelle (Abb. 14), die mit den Massen- und Momentenwerten der einzelnen Zuladungsanteile ausgefüllt wird. Für den Kraftstoff muß die Masse zuerst errechnet werden. Wir tanken 139 Liter, was bei einer durchschnittlichen Kraftstoffdichte von 0,72 kg/Liter eine Masse von $139 \times 0,72 = 100$ kg ergibt. Mit dieser Masse gehen wir in das Beladungsdiagramm (Abb. 13) und ermitteln das Moment für den Kraftstoff. Für 100 kg beträgt es 120 daNm.

Nun zu den Fluggästen. Fragen Sie die Mitflieger nach ihrem „Gewicht“ und benutzen Sie dann diese Werte für die Berechnung. In unserem Beispiel beträgt die Masse des Piloten und des vorderen Fluggastes 150 kg, was gemäß Abbildung 13 ein zugehöriges Moment von 140 daNm ergibt. Für den hinteren Fluggast (80 kg) entnehmen wir aus dem Beladungsdiagramm ein Moment von 150 daNm. Das Gepäck mit einer Masse von 40 kg verstauen wir im Gepäckraum. Dank des großen Hebelarms bringt es allein schon einen Wert von 100 daNm.

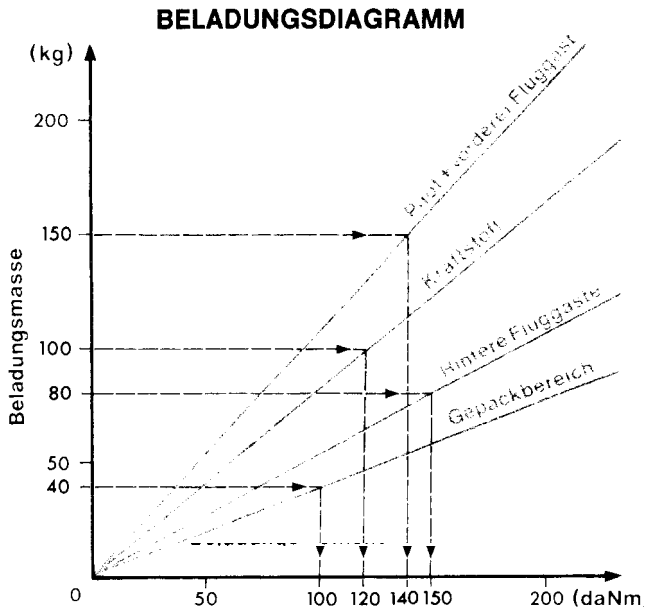
Addieren wir nun die einzelnen Massen und die entsprechenden Beladungsmomente, so erhalten wir als Gesamtmasse 1032 kg und als Gesamtmoment 1173 daNm. Mit diesen Werten gehen wir in das Diagramm „Zulässiger Schwerpunktbereich“ (Abb. 15) und kontrollieren, ob die errechneten Werte innerhalb des zulässigen Bereichs liegen. In unserem Beispiel befindet sich der Schwerpunkt innerhalb dieses Bereichs, der Beladungszustand ist also zulässig!

Höchstzulässige Massen

Als Normalflugzeug:	Höchstzulässige Startmasse:	1043 kg
	Höchstzulässige Landemasse:	1043 kg
	Höchstzulässige Masse im Gepäckbereich:	54 kg
	Gepäckbereich (oder Fluggast auf Kindersitz) :	907 kg
Als Nutzflugzeug:	Höchstzulässige Startmasse:	907 kg
	Höchstzulässige Landemasse:	
Beim Einsatz als Nutzflugzeug dürfen Gepäckraum und Rücksitz nicht belegt sein.		

Maximale Kraftstoffmengen

2 Standardtanks:	Je 21,5 US gal = 81,41
Gesamtfassungsvermögen:	43 US gal = 162,81
Ausfliegbare Menge: (alle Flugbedingungen)	40 US gal = 151,41
Nicht ausfliegbare Menge:	3 US gal = 11,4 l (Abbildung: 12)



BERECHNUNG DES BELADUNGSZUSTANDES	Masse kg	Moment (daNm)
1. Grundmasse (Benutzen Sie die Werte für Ihr Flugzeug im derzeitigen Rüstzustand. Schließt nicht ausfliegbaren Kraftstoff und volle Ölauffüllung ein).	662	663
2. Kraftstoff, ausfliegbar (bei 0,72 kg/l) Standardtanks (151,41 max.)	100	120
3. Pilot und vorderer Fluggast	150	140
4. Hintere Fluggäste	80	150
5. Gepäckbereich oder Fluggast auf Kindersitz	40	100
6. Rampenmasse und -moment	1032	1173

