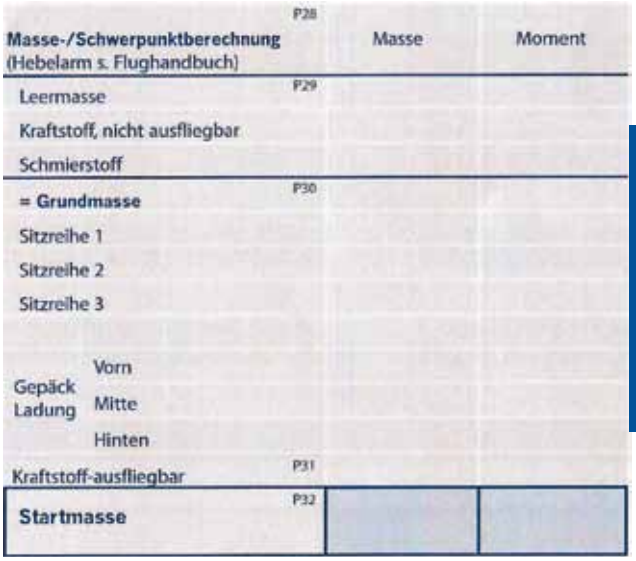
AOPA GERMANY SAFETY LETTER



Masse-/Schwerpunktberechnung (Hebelarm s. Flughandbuch)	P28	Masse	Moment
Leermasse	P29		
Kraftstoff, nicht ausfliegbar			
Schmierstoff			
= Grundmasse	P30		
Sitzreihe 1			
Sitzreihe 2			
Sitzreihe 3			
Gepäck Ladung Vorn			
Gepäck Ladung Mitte			
Gepäck Ladung Hinten			
Kraftstoff-ausfliegbar	P31		
Startmasse	P32		

MASSE UND SCHWERPUNKT

Nr. 29, Februar 2017

Die Berechnung von Masse bzw. Gewicht und der Lage des Schwerpunktes eines Flugzeuges, im Englischen als „Weight and Balance (W & B)" bezeichnet, ist Aufgabe des verantwortlichen Piloten. Auch wenn die erneute Berechnung vielleicht nicht vor jedem einzelnen Flug erforderlich ist, so gibt es doch viele Situationen, die eine genaue Bestimmung der Gesamtmasse und der Lage des Schwerpunktes unbedingt erfordern, insbesondere wenn das Flugzeug voll beladen werden soll, die Dichtehöhe hoch, oder die Start- oder Landebahn sehr kurz ist.

Gerade die einmotorigen Flugzeuge der Allgemeinen Luftfahrt haben nur eine sehr begrenzte Leistung, und in vielen Fällen ist das Flugzeug mit vier Passagieren und ein bisschen Gepäck schon überladen.

Dank der ausführlichen Beschreibung der Berechnung von Masse und Schwerpunkt in den Flughandbüchern, mit Beispielen, Tabellen und Diagrammen, ist es nicht schwierig, diese Arbeit vor einem Flug durchzuführen.

MASSE

Höchstzulässige Masse

Ein Flugzeug kann wegen seiner vom Konstrukteur unter Berücksichtigung der Materialfestigkeit bestimmten Bauweise nur bis zu einem gewissen Grenzwert belastet werden. Ein Überschreiten dieses Grenzwertes ist unzulässig und kann erhebliche Schäden am Flugzeug verursachen. Erste Schäden an der Struktur des Flugzeuges sind oft nur schwer zu entdecken. Es sind häufig winzige Haarrisse, die sich durch Belastung vergrößern und schließlich zum Bruch wichtiger Bauteile führen können. Je größer die Masse durch Zuladung wird, desto höher wird auch die Beanspruchung der Struktur. Dies gilt erst recht für Flugzustände, bei denen sich die Last vervielfacht wie z.B. beim Abfangen aus einem raschen Sinkflug oder bei einer Steilkurve.

Die maximal mögliche Masse für ein Flugzeug wird durch die im Flughandbuch festgelegte höchstzulässige Startmasse angegeben, bei größeren Flugzeugen zusätzlich durch die höchstzulässige Landemasse (sie ist geringer als die höchstzulässige Startmasse). Bei einmotorigen Flugzeugen sind die höchstzulässige Start- und Landemasse meist identisch.

Da früher mit der physikalischen Größe „Gewicht" anstelle von „Masse" gerechnet wurde, findet sich in vielen Flughandbüchern noch der Begriff „höchstzulässiges Startgewicht". Dieser heißt im englischen „Maximum Take-Off Weight" (Abk. MTOW) und wird heute noch sehr oft verwendet.

Die Startmasse setzt sich aus Leermasse und Zuladung zusammen. Zur Leermasse gehören die Masse des Flugzeuges einschließlich Sonderausrüstung, nicht ausfliegbarem Kraftstoff und alle Öle. Sie wird durch Wägung bestimmt und im Wägungsbericht sowie in das Flughandbuch, Abschnitt „Masse und Schwerpunkt", eingetragen. Veränderungen am Flugzeug, die zu einer Änderung der Leermasse führen (z.B. Einbau zusätzlicher Ausrüstung), erfordern eine neue Wägung und einen neuen Wägungsbericht.

Die Differenz zwischen höchstzulässiger Startmasse und Leermasse ergibt die maximal mögliche Zuladung. Die Zuladung besteht aus Pilot, ggf. Copilot, Passagieren, Kraftstoff und Gepäck bzw. Fracht. Ein Blick in die Flughandbücher der heute gängigen einmotorigen viersitzigen Flugzeuge zeigt, dass die Zuladung im Allgemeinen sehr begrenzt ist und ein Flug mit vier Insassen, vollen Tanks und zusätzlichem Gepäck kaum möglich ist.

Masse und Flugleistung

Die Masse eines Flugzeuges wirkt sich nicht nur auf die Struktur, sondern auch auf die Flugleistungen aus. Mit zunehmender Masse ändern sich die Flugleistungen:

- Das Flugzeug benötigt eine höhere Startgeschwindigkeit und damit eine größere Startstrecke.
- Der Steigwinkel wird flacher.
- Die Steiggeschwindigkeit wird kleiner.
- Die maximale Dienstgipfelhöhe wird verringert.
- Die Reisegeschwindigkeit wird verringert und damit die Reichweite des Flugzeuges.
- Der Kurvenradius wird vergrößert.
- Die Landerollstrecke wird verlängert, da die Landegeschwindigkeit höher ist.

Wer meist nur alleine fliegt und damit die volle Leistung zur Verfügung hat, wird bei voller Beladung, selbst bei einem einmotorigen Kleinflugzeug, die Verschlechterung der Flugleistung spüren.

Unter Umständen kann aber die höchstzulässige Startmasse gar nicht ausgenutzt werden, da örtliche Gegebenheiten des Flugplatzes (z.B. geringe Bahnlänge, große Flugplatzhöhe, eingeschränkte Hindernisfreiheit), meteorologische Bedingungen (z.B. hohe Temperatur, geringer Luftdruck, hohe Luftfeuchte) oder die gewählte Reiseflughöhe (z.B. Alpenüberquerung) die Startmasse beschränken. Die Berechnung der Zuladung muss daher im Einzelfall sehr gründlich durchgeführt werden.

SCHWERPUNKT

Entscheidend für die Belastung des Flugzeuges und insbesondere für das Flugverhalten ist nicht nur die Größe der Flugzeugmasse, sondern auch ihre Anordnung. Die Verteilung der Masse bestimmt die Lage des Schwerpunktes. Je nach Beladung verschiebt sich der Schwerpunkt mehr oder weniger stark nach vorne oder hinten.

Der Schwerpunktverlagerung sind enge Grenzen gesetzt, da große Verschiebungen die Stabilität beeinflussen und zu gefährlichen Flugzuständen führen können und darüber hinaus die Start- und Landeeigenschaften verschlechtern. Es ist daher erforderlich, vor dem Flug die Schwerpunktlage zu bestimmen und sicherzustellen, dass der Schwerpunkt im zulässigen Bereich liegt.

Der Schwerpunkt eines Flugzeuges ist die Stelle, in der man sich die Gesamtmasse des Flugzeuges vereint vorstellen kann (Massenmittelpunkt). Er liegt bei den einmotorigen Flugzeugen etwa in Höhe der vorderen Hälfte der Tragfläche und damit im Bereich der vorderen Sitze. Würde man das Flugzeug im Schwerpunkt frei aufhängen oder unterstützen, so würde es jede beliebige Lage beibehalten.

Alle drei Achsen des Flugzeuges (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 Position des Schwerpunkts genau beschreiben zu können, wird der Abstand zu einer Bezugsebene angegeben, deren Lage vom Flugzeughersteller festgelegt worden ist. Meist wird als Bezugsebene das Brandschott oder die Propellernase (Spinner) gewählt und der vordere und hintere maximale Schwerpunktbereich in Meter oder Zentimeter von dieser Ebene aus im Flughandbuch unter dem Abschnitt „Betriebsgrenzen" veröffentlicht. So liegt z.B. für eine Piper PA 28 die Bezugsebene 199 cm vor der Tragflächenvorderkante und die vordere Schwerpunktgrenzlage 208 cm, die hintere 236 cm von dieser Bezugsebene aus entfernt.

Die aktuelle Lage des Schwerpunktes lässt sich aus der Summe der einzelnen durch die Zuladung her-

vorgerufenen Drehmomente (Kraft x Hebelarm) berechnen. In vielen Flughandbüchern sind daher die Hebelarme für die verschiedenen Zuladungsstellen, die sogenannten Stationen, als Abstand von der Bezugsebene angegeben.

Multipliziert man den jeweiligen Hebelarm mit der entsprechenden Zuladung, so erhält man das von ihr erzeugte Drehmoment. Die Addition aller Momente ergibt das Gesamtmoment, das nun durch die von der Startmasse erzeugte Kraft dividiert wird. Man erhält als Resultat schließlich den Abstand (Hebelarm) des Schwerpunktes von der Bezugsebene. Diese etwas kompliziert erscheinende Rechnung lässt sich mit Tabellen und Diagrammen aus dem Flughandbuch sehr leicht durchführen.

Für die 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 Beladezustandes ebenfalls im zulässigen Bereich liegen muss. Es gibt Flugzeugmuster, die mit vier Personen an Bord und vollen Kraftstofftanks eine zulässige Schwerpunktlage aufweisen. Mit nur einer Person an Bord und vollen Kraftstofftanks hingegen wird die vordere Schwerpunktgrenzlage bereits überschritten (z.B. durch nachträgliche Ausrüstung im vorderen Rumpfteil).

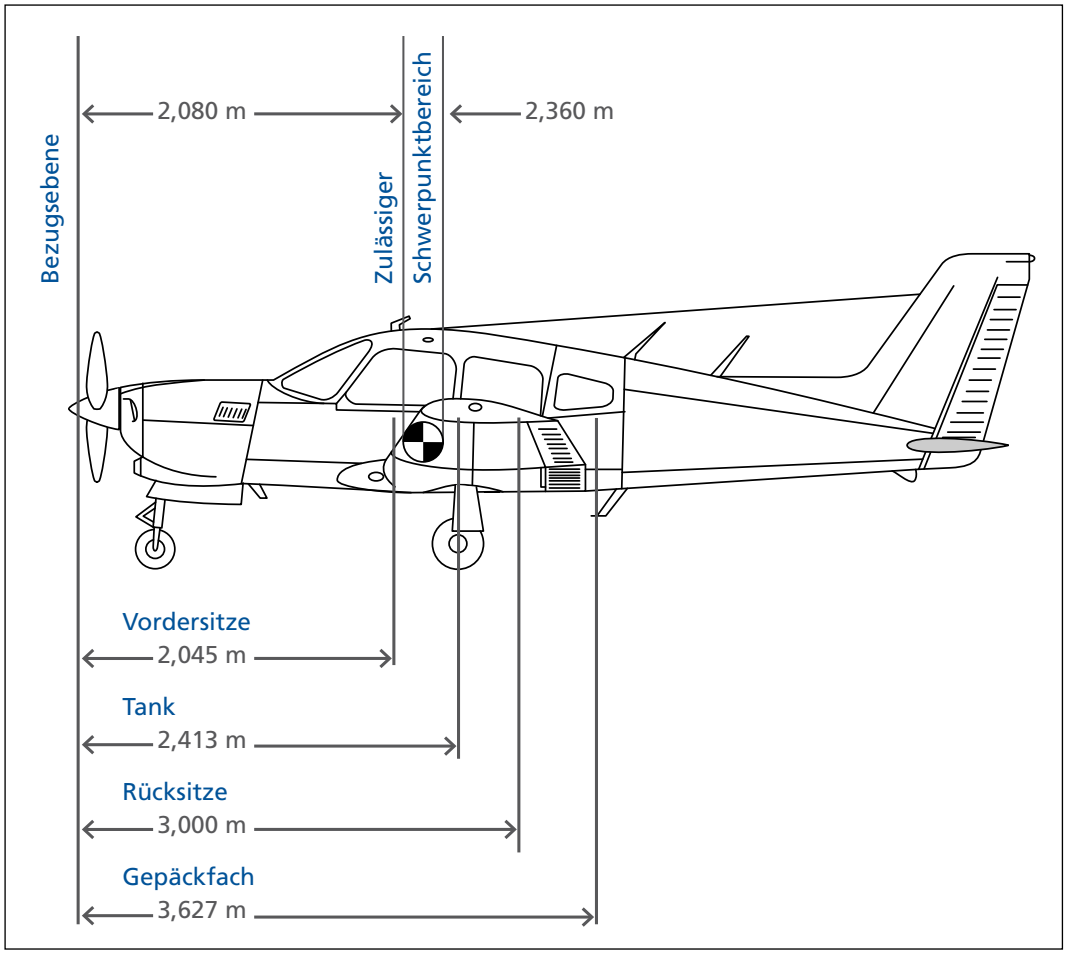
STABILITÄT UND SCHWERPUNKTLAGE

Stabilität und Kontrolle des Gleichgewichts

Unter Stabilität eines Flugzeuges versteht man das Gleichgewicht der Kräfte und der von ihnen erzeugten (Dreh-) Momente sowie das Verhalten gegenüber Störungen der Gleichgewichtslage, ausgelöst z.B. durch Turbulenzen, Böen oder Ruderausschläge. Ausgewogene Stabilität ist eine wichtige Voraussetzung für die Steuerung des Flugzeuges und für das sichere Fliegen überhaupt. Instabilität, z.B. hervorgerufen durch falsche Beladung und damit unzulässige Verschiebung der Schwerpunktlage, verschlechtert die Steuerbarkeit und kann im schlimmsten Fall zur Steuerlosigkeit führen.

Stabilität muss um alle drei Achsen (Hoch-, Längs- und Querachse) gegeben sein. Dabei ist die Längsstabilität (die Stabilität entlang der Längsachse) wohl die wichtigste. Sie hängt unmittelbar mit der Lage des Schwerpunktes zusammen.

Die Längsstabilität wird dadurch gewährleistet, dass der Schwerpunkt des Flugzeuges etwas vor dem Angriffspunkt des Gesamtauftriebs, dem so genannten



Zulässiger Schwerpunktbereich und Hebelarme für die verschiedenen Beladungsstationen am Beispiel einer Piper PA 28.

Kräfte und Momente

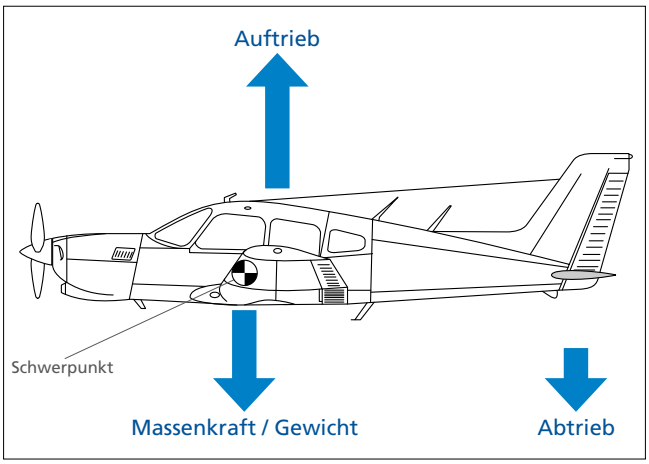
Ein (Dreh-) Moment entsteht dadurch, dass eine Kraft (keine Masse!) auf einen Körper einwirkt und diesen um einen bestimmten Punkt dreht. Multipliziert man diese Kraft mit dem senkrecht dazu stehenden Abstand zum entsprechenden Drehpunkt, dem so genannten Hebelarm, so erhält man als Ergebnis ein Moment. Momente können sowohl links- als auch rechtsdrehend sein.

Bei einem Flugzeug erzeugen der Auftrieb am Tragflügel und der Abtrieb am Höhenleitwerk jeweils ein bestimmtes Drehmoment um den Schwerpunkt. Die aus der Gesamtmasse des Flugzeuges resultierende Kraft greift im Schwerpunkt an und erzeugt dagegen kein Moment, da der Schwerpunkt auch gleichzeitig Drehpunkt ist.

Auftrieb und Abtrieb haben jeweils einen bestimmten Abstand (Hebelarm) zum Schwerpunkt; ein kurzer Hebelarm für die große Auftriebskraft, ein langer Hebelarm für die geringe Abtriebskraft. Im stationären Horizontalflug sind beide Momente gleich groß und heben sich damit gegenseitig auf.

Druckpunkt, liegt. Dies bewirkt ein kopflastiges Drehmoment (um den Schwerpunkt), also ein Nicken nach vorne. Dieses Nickmoment wird durch die am Höhenleitwerk erzeugte Abtriebskraft ausgeglichen, die unmittelbar von der Fluggeschwindigkeit abhängt (Dass auch Schub und Widerstand Momente erzeugen, bleibt für diese Betrachtung unberücksichtigt).

Damit das Flugzeug nicht steigt oder sinkt, muss die Auftriebskraft die nach unten wirkende Massenkraft und die ebenfalls nach unten gerichtete Abtriebskraft



Kräfte im stabilen Horizontalflug (vereinfachte Darstellung)

des Höhenleitwerkes kompensieren. Dieses Kräftegleichgewicht allein genügt allerdings nicht, um das Flugzeug in der Horizontalen zu halten. Damit keine Drehung um die Querachse erfolgt, müssen sich auch alle auf das Flugzeug wirkenden Momente gegenseitig aufheben. Dem durch den Auftrieb erzeugten Nickmoment muss also ein gleich großes schwanzlastiges Moment, erzeugt durch die Abtriebskraft am Höhenleitwerk, entgegenwirken.

So lange sich der Schwerpunkt im eng begrenzten und durch die Konstruktion festgelegten Bereich bewegt, funktioniert dieser „Momentenausgleich“ und das Flugzeug hat eine ausreichende Längsstabilität. Liegt der Schwerpunkt zu weit vorne oder zu weit hinten und damit außerhalb des zulässigen Bereichs, so wird das Flugzeug instabil und kann im schlimmsten Fall nicht mehr kontrolliert werden.

Vordere Schwerpunktlage

Wird die Zuladung eines Flugzeuges so verteilt, dass der Schwerpunkt weit nach vorne rückt, dann ändern sich auch die Momente um den Schwerpunkt. Der Hebelarm der Auftriebskraft des Tragflügels und der Hebelarm der Abtriebskraft am Höhenleitwerk werden zwar beide größer, aber das kopflastige Moment der Auftriebskraft erhöht sich bedeutend stärker als das schwanzlastige Moment durch die Abtriebskraft.

Dieser kopflastigen Tendenz kann nur dadurch entgegengewirkt werden, dass die Abtriebskraft am Höhenleitwerk vergrößert wird. Das bedeutet, dass mit nach oben ausgeschlagenem Höhenruder geflogen werden muss, um das Flugzeug in der Horizontalen zu halten.

Eine extrem vordere Schwerpunktlage bewirkt:

- Der verfügbare Bereich des Höhenruderausschlages ist eingeschränkt, da ein bestimmter Ausschlag nach oben (in Richtung „Ziehen“) bereits für den stationären Horizontalflug erforderlich ist.
- Der Anstellwinkel für den stationären Horizontalflug wird größer, was zu einer Vergrößerung des Widerstandes führt. Das Flugzeug wird langsamer.

Für den Piloten bedeutet das:

- Das Abheben beim Start wird erschwert (wenn nicht gar unmöglich) und das nachfolgende Steigen verschlechtert.
- Das Flugzeug überzieht bereits bei höheren Geschwindigkeiten. Der Anstellwinkel, bei welchem

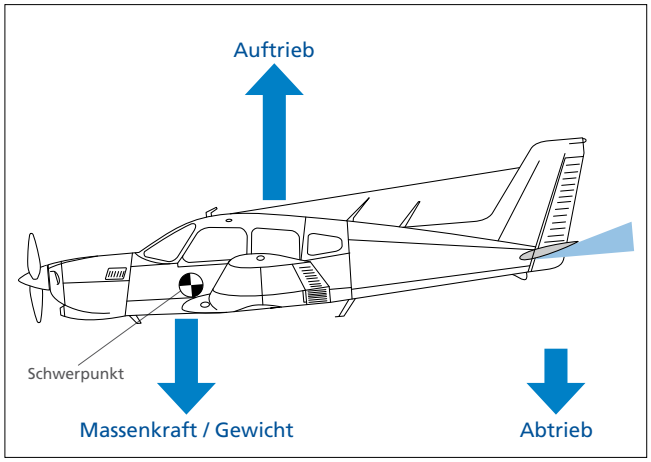
die Strömung abzureißen beginnt, wird schneller erreicht, da schon im Reiseflug mit einem erhöhten Anstellwinkel geflogen werden muss.
- Bei der Landung kann unter Umständen nur noch unzureichend abgefangen werden, was zu einer Bugradlandung und Überbeanspruchung der Flugzeugzelle führen kann.

Hintere Schwerpunktlage

Liegt aufgrund der Beladung der Schwerpunkt des Flugzeuges hinter der zulässigen Begrenzung, so wird das Flugzeug schwanzlastig. Der Auftrieb greift nun vor dem Schwerpunkt an und hebt den vorderen Teil des Flugzeuges nach oben, es „bäumt" sich quasi auf. Nur durch die Verringerung des durch den Abtrieb am Höhenleitwerk erzeugten Moments (Drücken am Steuer) könnte das Flugzeug wieder in die Ausgangslage zurückgebracht werden. Durch die hintere Schwerpunktlage ist der Hebelarm für die Abtriebskraft jedoch soweit verkürzt worden, dass diese Momentenänderung kaum ausreicht, das in Richtung schwanzlastig aus seiner Ruhelage gebrachte Flugzeug wieder zurückzudrehen.

Das Flugzeug ist instabil und damit kaum noch steuerbar.

Für den Piloten bedeutet das:
- Während des Startlaufs wird ein zusätzliches Drücken erforderlich.
- Es besteht die Gefahr, dass zu früh abgehoben und dadurch überzogen wird.



Wenn der Schwerpunkt zu weit vorne liegt, reicht die Abtriebskraft am Höhenleitwerk unter Umständen nicht mehr aus, um das Flugzeug zur Landung ausschweben zu lassen (vereinfachte Darstellung).

BERECHNUNG VON MASSE UND SCHWERPUNKT

Die Größe und Verteilung der Flugzeugmasse und die Lage des Schwerpunktes hängen unmittelbar zusammen. Sie dürfen, wie bereits erklärt, bestimmte Werte nicht überschreiten und müssen daher vor jedem Flug bestimmt werden. Es stellen sich für den Piloten zwei Fragen:
- Überschreitet die geplante Zuladung die zulässige Startmasse?
- Liegt der Schwerpunkt bei der geplanten Zuladung im zulässigen Bereich?

Alle für die Beantwortung dieser beiden Fragen erforderlichen Angaben findet man im Flughandbuch meist in Tabellen und Diagrammen. Im Wesentlichen sind dies:
- Ladeplan zur Berechnung des Beladezustandes
- Beladungsdiagramm zur Bestimmung der einzelnen Momente
- Diagramm zur Kontrolle des zulässigen Schwerpunktbereiches

Am besten lässt sich die Massen- und Schwerpunktbestimmung mit einem Rechenbeispiel darstellen. Die Werte und Angaben des folgenden Beispiels sind zum größten Teil dem Flughandbuch einer Piper PA 28 entnommen.

Hierbei handelt es sich um ein weit verbreitetes einmotoriges, viersitziges Flugzeugmuster. Das Flugzeug wird in diesem Fall als Normalflugzeug genutzt und es ist mit vier Insassen besetzt. Folgende Daten sind gegeben:
- Zulässiger Schwerpunktbereich: 208 cm bis 236 cm bei 930 kg und weniger,
- 225 cm bis 236 cm bei über 930 kg, gemessen von der im Flughandbuch definierten Bezugsebene
- Höchstzulässige Startmasse: 1.156 kg gemäß Flughandbuch
- Leermasse: 702 kg (Moment 1.542,29 kgm) gemäß letztem Wägungsbericht und Eintrag im Flughandbuch
- Masse von Pilot und Copilot (Vordersitze): 150 kg
- Masse von zwei Passagieren (Rücksitze): 120 kg
- Gepäck (Gepäckraum): 15 kg
- Tankinhalt: 100 Liter

Achtung: Die hier verwendeten Daten sind Beispiele und können nicht auf eine andere Piper PA 28 über-

tragen werden. Es gelten jeweils die Daten im entsprechenden Flughandbuch. Dabei ist besonders der aktuelle Wägungsbericht mit der angegebenen Leermasse und dem dazugehörigen Moment zu beachten.

1. Schritt: Berechnung der Startmasse

In den Ladeplan werden die Massenwerte der einzelnen Zuladungen (Piloten, Passagiere, Gepäck) eingetragen.

Für den mitgeführten Kraftstoff muss die Masse erst errechnet werden. 100 Liter Kraftstoff ergeben bei einer durchschnittlichen Kraftstoffdichte von 0,72 kg/Liter eine Masse von 100 x 0,72 = 72 kg. Dieser Wert wird ebenfalls in die Tabelle übernommen.

Nun werden die Massenwerte addiert. Es ergibt sich eine Gesamtmasse von 1.059 kg.

Hiervon werden 3 kg für Kraftstoff zum Anlassen, Rollen und Standlauf abgezogen: Es ergibt sich die Startmasse mit 1.056 kg. Sie liegt mit 100 kg unterhalb der höchstzulässigen Startmasse.

Nur in einigen Flughandbüchern ist ein Wert für den Kraftstoffverbrauch zum Anlassen, Rollen und Standlauf festgelegt. Ist kein Wert vorgegeben und sieht der Ladeplan hierfür keine Zeile vor, so muss man in der Berechnung auch keinen entsprechenden Wert verwenden.

2. Schritt: Bestimmung der Momente

Die Größe der einzelnen Momente für Vordersitze, Rücksitze, Gepäck und Kraftstoff lassen sich mit Hilfe des Beladungsdiagramms bestimmen. Zur Ermittlung des sich durch die Beladung der Vordersitze ergebenden Moments wird zuerst auf der vertikalen Diagrammachse die Masse von 150 kg eingetragen und von dort aus eine waagerechte Gerade zur Linie mit der Bezeichnung „Pilot + vorderer Fluggast“ gezogen. Von dem sich hieraus ergebenden Schnittpunkt wird nun ein zweite Gerade senkrecht auf die waagerechte Diagrammachse (Moment) gezeichnet und am Schnittpunkt mit der Achse der Wert des entsprechenden Moments abgelesen (hier 306 kgm). In gleicher Weise werden die anderen Momente bestimmt.

Die Momente lassen sich sehr viel einfacher und genauer bestimmen, wenn, wie in dem Beispiel, der Ladeplan die Werte für die einzelnen Hebelarme enthält. In diesem Fall muss jeweils der Massenwert mit dem Hebelarm multipliziert werden, um die einzelnen Momente zu erhalten.

Sind die einzelnen Momente eingetragen, werden sie addiert und ergeben das Gesamtmoment, im Beispiel 2.429,95 kgm.

Leider sind die in den Flughandbüchern verwendeten Einheiten für die Angabe der Momente unterschiedlich. In älteren Flughandbüchern wird meist mit kpm (Kilopond-Meter), in neueren mit kgm (Kilogramm-Meter) gerechnet.

Nach dem Internationalen Einheitensystem ist die korrekte physikalische Einheit für ein Moment Nm (Newton-Meter).

3. Schritt: Bestimmung der Schwerpunktlage

Die Lage des Schwerpunktes lässt sich mathematisch oder mit Hilfe des Diagramms für den zulässigen Schwerpunktbereich bestimmen. Mathematisch errechnet sich die Schwerpunktlage aus der Division von Gesamtmoment mit Startmasse wie folgt:

Schwerpunktlage = Gesamtmoment/Startmasse
= 2.429,95 kgm/1.056 kg
= 2,301 m

Ladeplan	Masse kg	Hebelarm m	Moment kgm
1. Leermasse	702	2,197	1.542,29
2. Kraftstoff, ausfliegbar (Standardtanks 182 l max.)	*72*	2,413	*173,74*
3. Pilot und vorderer Fluggast	*150*	2,045	*306,75*
4. Hintere Fluggäste	*120*	3,000	*360,00*
5. Gepäck im Gepäckfach	*15*	3,627	*54,41*
6. Kraftstoff für Anlassen, Rollen und Standlauf	-3	2,413	-7,24
7. Startmasse und Gesamtmoment	*1056*		*2.429,95*

Beispiel für einen ausgefüllten Ladeplan

Der Schwerpunkt liegt also in diesem Beispiel 230 cm von der festgelegten Bezugsebene entfernt und damit im zulässigen Schwerpunktbereich.

Zum gleichen Ergebnis kommt man, wenn man die Werte für Startmasse (1.056 kg) und Gesamtmoment (2.429,95 kgm) in das Diagramm für den zulässigen Schwerpunktbereich einträgt.

Das hier dargestellte Beispiel zeigt, dass die Bestimmung von Masse und Schwerpunkt einfach und schnell ist. Grundsätzlich hat jeder Pilot vor einem Flug sicherzustellen, dass sich Masse und Schwerpunkt im zulässigen Bereich befinden. Dies bedeutet nicht unbedingt, dass vor jedem Flug eine detaillierte Berechnung durchzuführen ist. Jeder Pilot sollte sich ausführlich mit dem entsprechenden Abschnitt im Flughandbuch befassen, einige Beispiele durchrechnen und sich die wesentlichen Werte wie höchstzulässige Startmasse und maximale Zuladung merken.

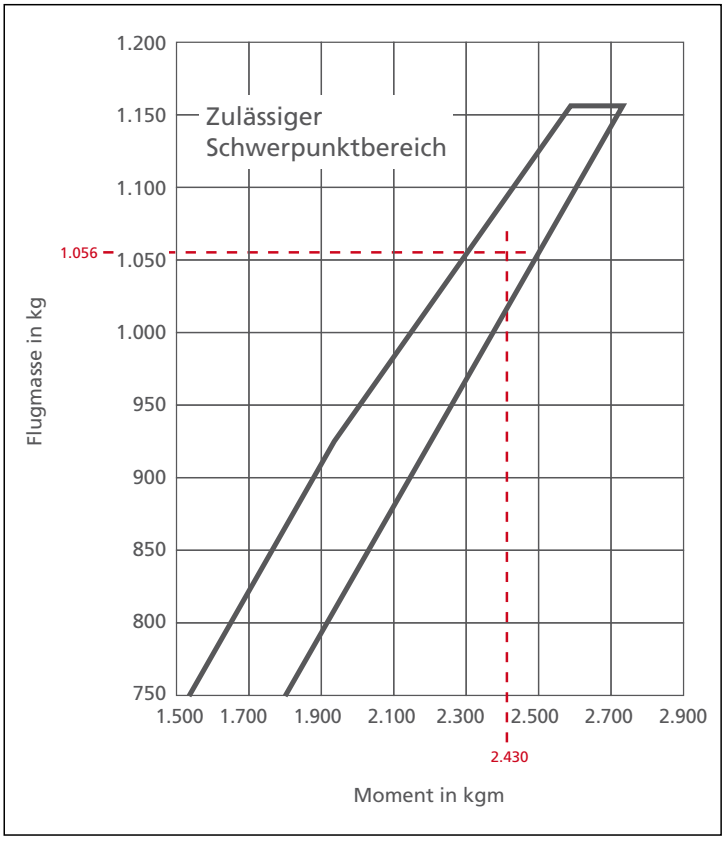
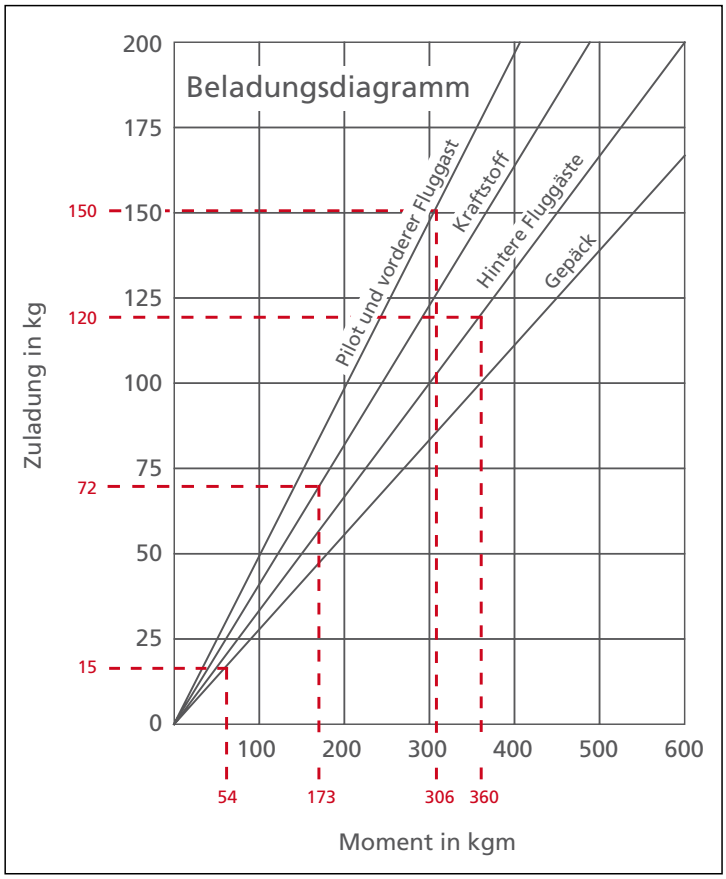


Diagramm zur Überprüfung der zulässigen Schwerpunktlage

Ist die geplante Zuladung relativ schwer oder ist die Startmasse durch andere Einflüsse begrenzt (z.B. kurze Start- und Landebahn, große Dichtehöhe, große Reiseflughöhe), so muss ohne Frage eine ausführliche Massen- und Schwerpunktberechnung durchgeführt werden. Unter Umständen verlangt die Berechnung eine Reduzierung der Zuladung (z.B. weniger Kraftstoff, weniger Gepäck). Im ungünstigsten Fall kann der Flug nicht durchgeführt werden.



Beladungsdiagramm zur Bestimmung der Momente

Vielleicht ergibt die Schwerpunktbestimmung, dass unterschiedlich schweren Passagieren bestimmte Plätze zugewiesen werden müssen. Man sollte sich nicht scheuen, im Zweifelsfall die Insassen und das Gepäck einzeln zu wiegen. Einige Flugplätze verfügen zu diesem Zweck über entsprechende Waagen.

Besondere Sorgfalt ist geboten, wenn man ein anderes Flugzeug zum ersten Mal fliegt. Auch wenn es sich hierbei u.U. um das gleiche gewohnte Muster handelt, so kann es doch sein, dass sich die Leermasse und die Zuladung durch Zusatzausrüstung (z.B. weitere Cockpitinstrumente, Langstreckentanks) erheblich von dem bislang geflogenen Muster unterscheiden.

ZUSAMMENFASSUNG

- **Die im Flughandbuch angegebene maximale Startmasse (bzw. maximales Startgewicht) darf in keinem Fall überschritten werden.**
- **Die Startmasse setzt sich zusammen aus Leermasse und Zuladung.**
- **Zur Zuladung gehören Piloten und Passagiere, Gepäck bzw. Fracht und Kraftstoff.**
- **Mit zunehmender Masse verringert sich die Flugleistung, insbesondere: höhere Startgeschwindigkeit, größere Startstrecke, geringere Steiggeschwindigkeit, geringere Dienstgipfelhöhe, höhere Landegeschwindigkeit, größere Landestrecke.**
- **Achtung: Große Flugplatzhöhe, große Dichtehöhe oder kurze Pistenlänge können dazu führen, dass das Flugzeug nicht voll beladen werden kann.**
- **Der Schwerpunkt des Flugzeuges ist die Stelle, in welcher man sich die Gesamtmasse des Flugzeuges vereint vorstellen kann.**
- **Der Schwerpunkt liegt bei einmotorigen Flugzeugen meist in Höhe der vorderen Hälfte der Tragfläche.**
- **Der Schwerpunkt darf sich nur innerhalb festgelegter Grenzen verschieben.**
- **Die Berechnung von Masse und Schwerpunkt darf nur nach den im Flughandbuch angegebenen Tabellen und Diagrammen durchgeführt werden.**
- **Eine detaillierte Berechnung sollte vor allem bei großer Zuladung, großer Dichtehöhe, kurzer Piste und bei einer Alpenüberquerung durchgeführt werden.**
- **Achtung: Zur Berechnung der Masse und des Schwerpunktes muss der aktuelle Wägungsbericht des Flugzeuges herangezogen werden.**

Autor:
Jürgen Mies

Grafiken/Fotos:
Die Grafiken wurden anhand von Abbildungen in den genannten Quellen erstellt.
Titelbild einem Flugdurchführungsplan entnommen (DFS Deutsche Flugsicherung GmbH).

Quelle:
„Masse und Schwerpunkt", Flugsicherheitsmitteilung fsm 4/84, Luftfahrt-Bundesamt, Braunschweig, 1985
„Flugtechnik", Jürgen Mies, Privatpiloten Bibliothek, Band 5, Motorbuch Verlag, 1996
„Weight and Balance Handbook", FAA-H-8083-1B, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Washington DC, 2016

Haftungsausschluss:
Die Informationen und Daten in diesem AOPA Safety Letter sind vom Autor und der AOPA-Germany sorgfältig erwogen und geprüft. Dennoch kann eine Garantie für Richtigkeit und Vollständigkeit nicht übernommen werden. Eine Haftung des Autors bzw. von AOPA-Germany und seiner Beauftragten für Personen-, Sach- und Vermögensschäden ist ausgeschlossen.

HERAUSGEBER
AOPA-Germany e.V.
Außerhalb 27 / Flugplatz
63329 Egelsbach

www.aopa.de