



Schwerpunktbestimmung

Eckart Müller

Auswiegen wörtlich genommen.

Modellflugkollege Philip, genannt Fips, war entsetzt. Nach gut achtzehn Monaten Bauzeit hatte er seine Staggerwing endlich fertig. Eine aufwändige Lackierung, Nieten, Nähte, Bleche, Klappen, der Cockpitausbau und authentische Zeichen und Markierungen machten aus dem an sich schon hervorragenden Modell einen optischen Leckerbissen. Der Versuch, die Schwerpunktlage zu überprüfen, endete in einer mittleren bis größeren Katastrophe. Trotz sorgfältigster Vorbereitung der Aktion rutschte ein Stützpunkt von der Zwischenlage und drang fast ungehemmt in und durch die Tragfläche. Damit war Fips, wie er mir anvertraute, zunächst mal restlos bedient. Ein zweiter Versuch kam für ihn vorerst nicht in Frage. Weil er aber den Erstflug dennoch nicht auf den Sankt Nimmerleinstag verschieben wollte, erkundigte er sich nach einer Erholungsphase bei mir, ob ich nicht eine alternative Methode kennen würde, mit der er den Schwerpunkt ermitteln könne, ohne Gefahr zu laufen, die Flächen erneut zu durchlöchern.

Das war die Vorgeschichte. Sie nötigte mich, über eine Sache nachzudenken, an die ich bis dato noch keinen einzigen Gedanken verschwendet hatte. Natürlich war mir aus dem Stehgreif kein alternatives Verfahren geläufig. Woher auch? Ich hatte ebenfalls bisher immer nur die Pendelmethode angewandt, allerdings ohne meine Modelle dabei zu beschädigen.

Aber einige Zeit später erinnerte ich mich dann doch ganz schwach daran, irgendwann einmal gehört oder gelesen zu haben, dass bei modernen Großflugzeugen aus der Belastung des Fahrwerks die aktuelle Schwerpunktlage bestimmt wird. Das heißt doch nichts anderes, als dass aus den Auflagerreaktionen am Fahrwerk der Ort des Schwerpunkts berechnet werden kann. War eigentlich „nur“ noch die Frage des **Wie?** zu beantworten!

Dank der Erinnerung an fundamentale Sätze der Mechanik bzw. Statik war mir nach anfänglicher Ratlosigkeit der Lösungsweg bald klar. Mit Hilfe des Momentengleichgewichts **Summe der Momente = 0** kann aus Gewichtskräften, die an *willkürlich* festgelegten Stellen ermittelt werden, die aktuelle Lage des Schwerpunkts berechnet werden. Als Fixpunkte bieten sich bei Motormodellen die Fahrwerke an, bei Seglern sind es der Sporn und die Rumpfpfeule, an denen die Gewichte bestimmt werden können. Vorher sind jedoch die in *Abb. 1, 2 bzw. 3* dargestellten Abstände abzumessen.

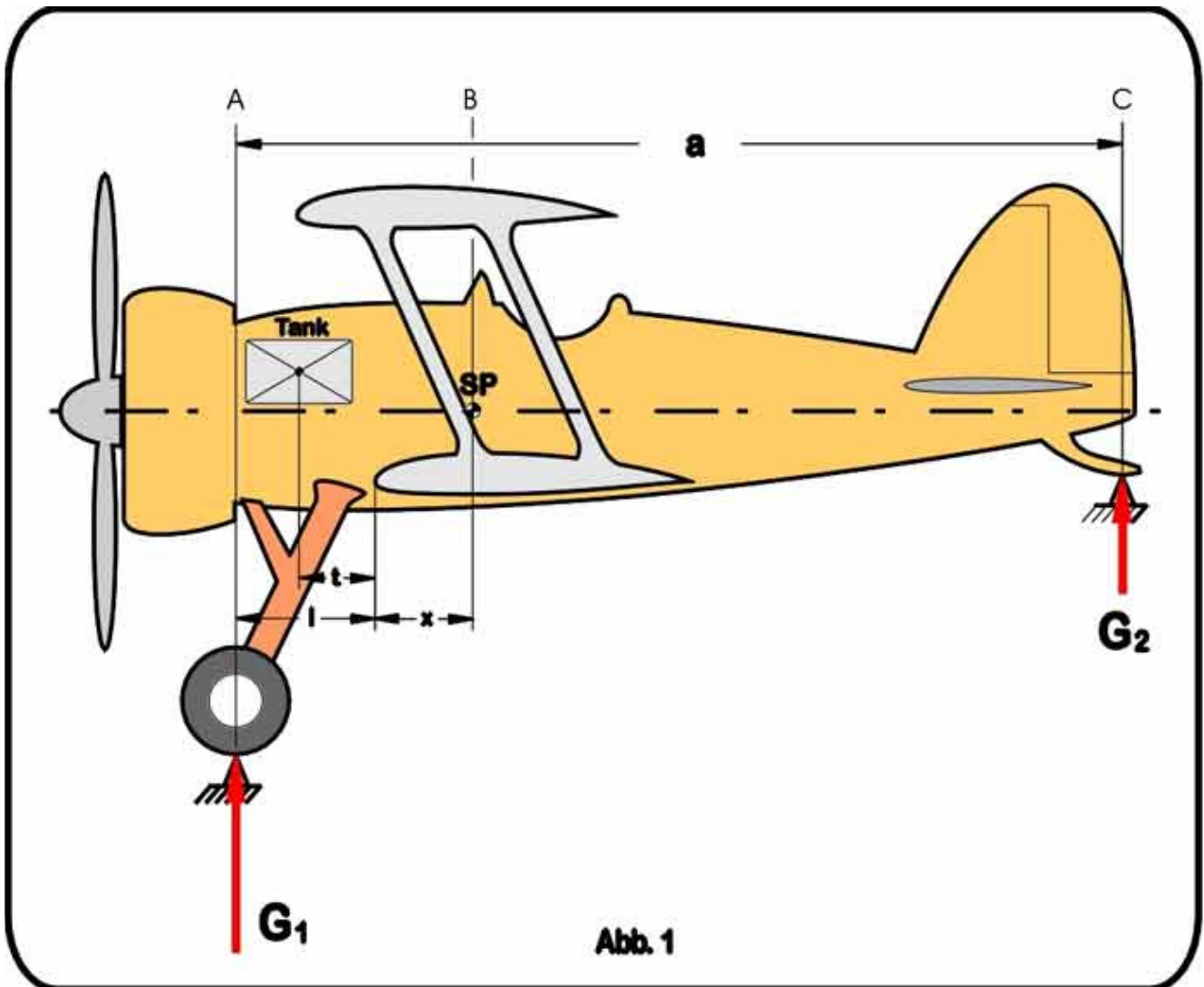


Abb. 1

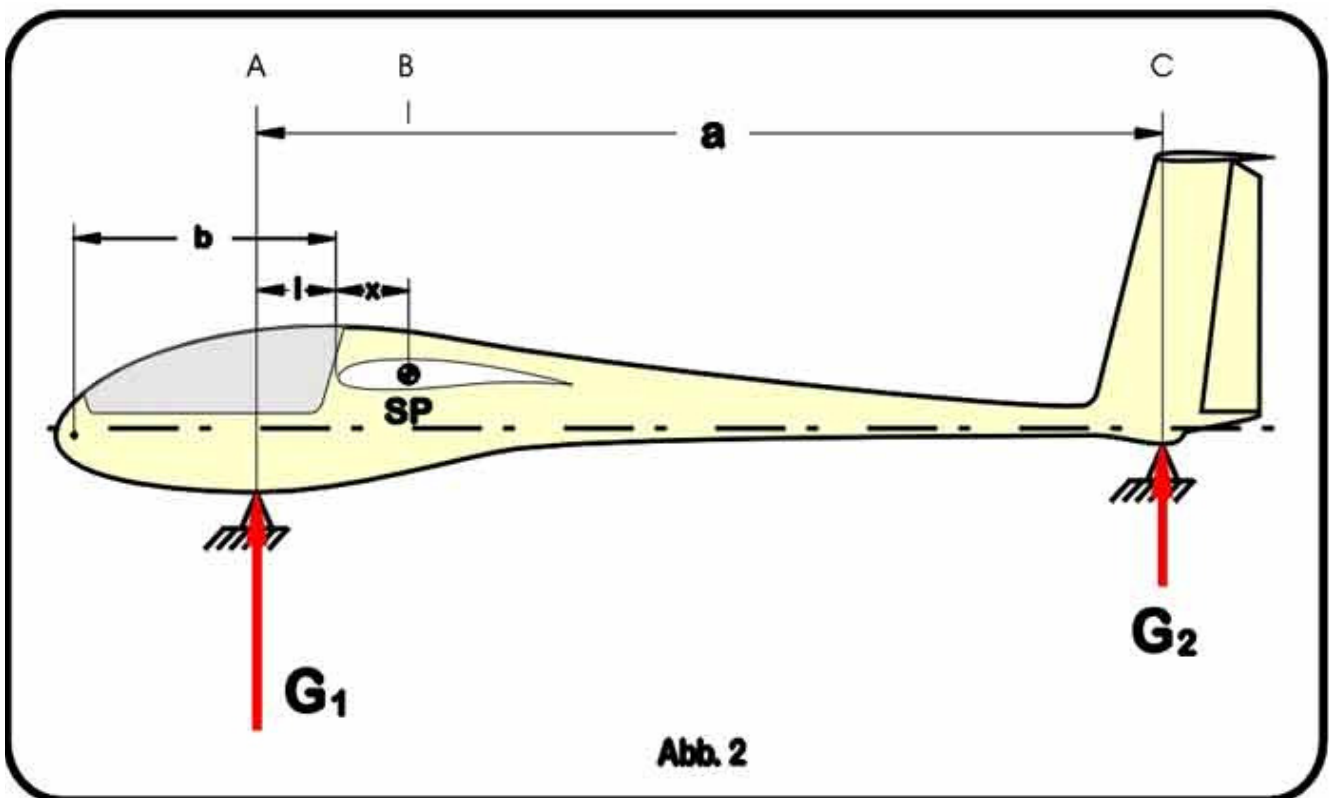
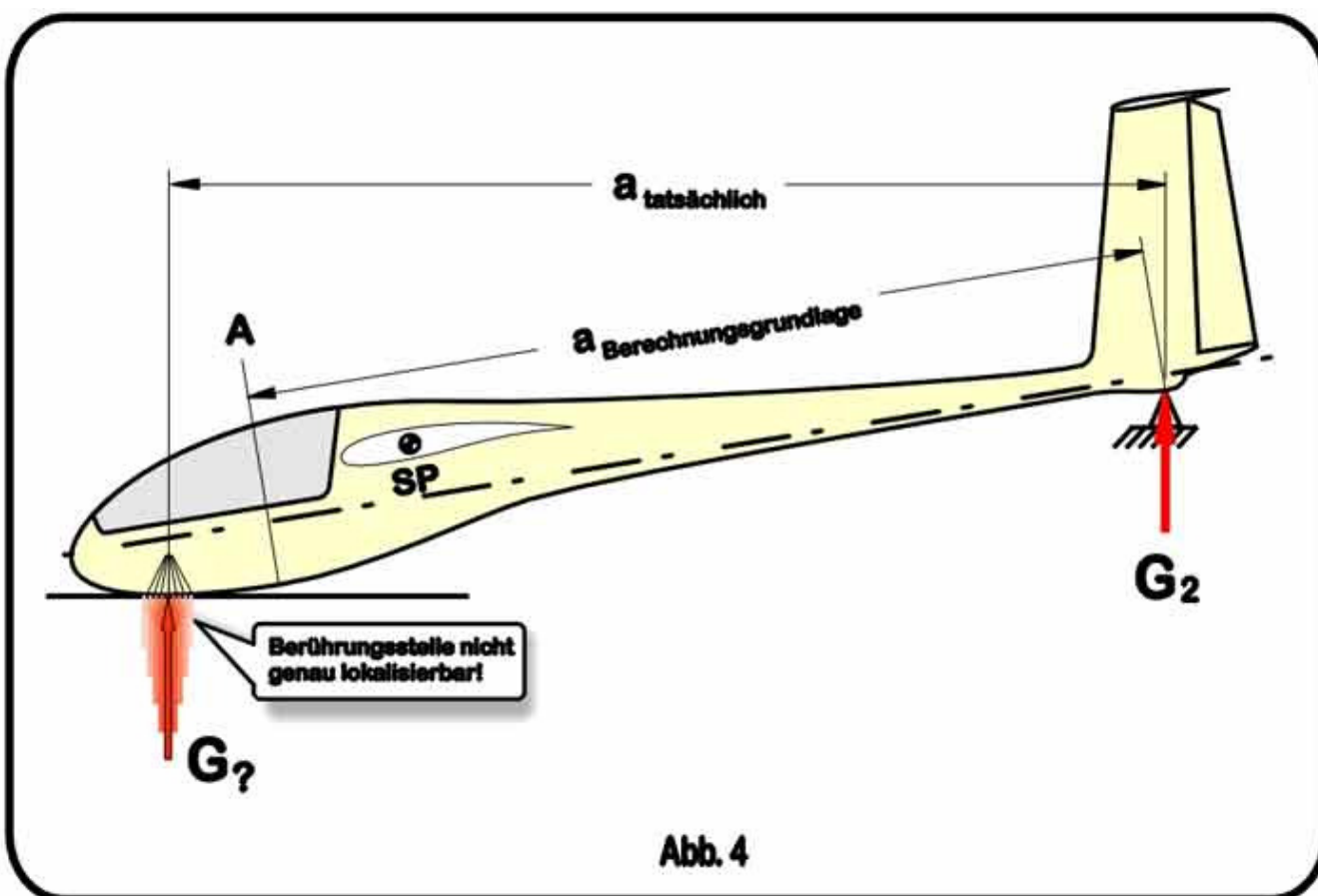
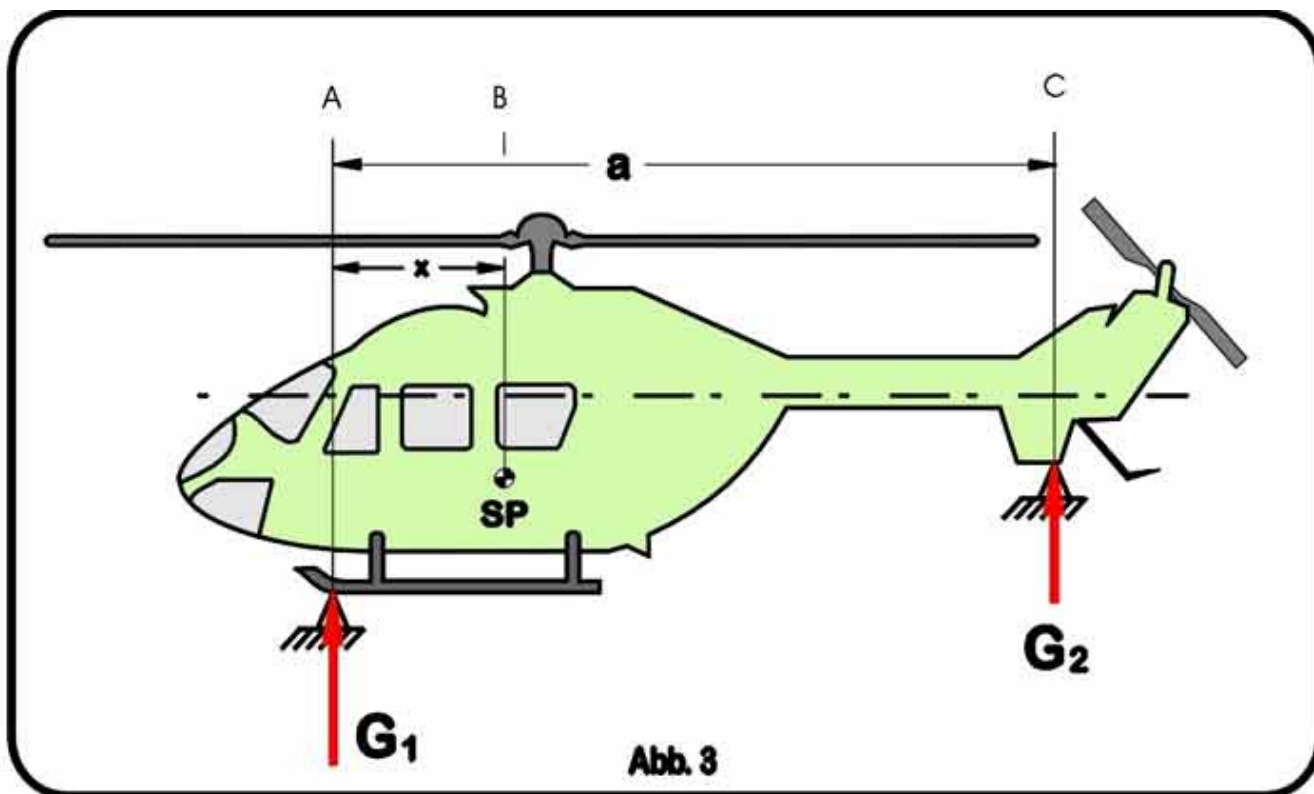


Abb. 2



Erklärungen zu den Abständen a , b , l , t und x folgen weiter unten.

Hat man erst einmal die Bestimmungsgleichung für den aktuellen Schwerpunkt gefunden, ist es ein vergleichsweise kleiner Schritt, z. B. dasjenige Gewicht bzw. Korrekturgewicht zu berechnen, mit dem die normalerweise im Bauplan vorgegebene Lage des Schwerpunkts erreicht wird. Ein weiteres interessantes „Nebenergebnis“ ist die rechnerische Antwort auf die Frage: In welchem Bereich bewegt sich der Schwerpunkt, wenn der Tank des Modells voll bzw. leer ist? Meines Wissens wird diesem Aspekt im Allgemeinen wenig Beachtung geschenkt. Vielleicht zu wenig, einfach weil es lästig ist, auch das noch zu untersuchen! Schließlich ist es ebenfalls relativ simpel festzustellen, wie das Einziehen des Fahrwerks, das sog. Einziehmoment, die Schwerpunktlage beeinflusst, sofern ein Einziehfahrwerk eingebaut ist und die Beantwortung dieser Frage den Modellflieger überhaupt interessiert!

Ähnlich sind die Bedingungen bei einem Segler. Hier ist es von Interesse, wie groß der Trimmballast in der Rumpfspitze (Bleikammer) sein muss bzw. wieviel Gewicht muss ich dort entfernen, um den Schwerpunkt von der augenblicklichen an die gewünschte bzw. erforderliche Stelle zu verschieben? Und zwar zielgerichtet. Ohne mehrmalige Versuche. Mal zuviel, dann wieder zuwenig usw. Lediglich eine *einzig* Messung ergibt den Status quo und *gleichzeitig* die nötige Korrektur.

Nur mit geringem Rechenaufwand sind die Gleichungen zu lösen. Sehr komfortabel ist es natürlich, mit einem Tabellenkalkulationsprogramm, wie z. B. Excel, zu arbeiten. Unmittelbar nach der Eingabe der variablen Daten können damit die Ergebnisse abgelesen und/oder ausgedruckt werden.

Hier ist eine entsprechend gestaltete [Excel-Tabelle](#), alternativ kann auch von einem [Fremdserver](#) geladen werden. Für alle diejenigen, die aus welchen guten Gründen auch immer kein Excel installiert haben, gibt es hier eine kostenlose Alternative: [OpenOffice](#).

Vorteile der Methode:



- Vor dem Erstflug präzise Lageermittlung und gegebenenfalls Lagekorrektur des Schwerpunkts.
- Nach dem Erfliegen des Schwerpunkts ist dessen Lage genau bestimmbar.
- Nach einer Reparatur oder einem Umbau ist die ursprüngliche Schwerpunktlage exakt reproduzierbar, sofern er vorher(!) bekannt war.
- Modelle, die wegen ihrer Form für die Pendelmethode ungeeignet sind, z. B. Hubschrauber, Großmodelle, Tiefdecker, Nurflügelmodelle usw. können problemlos ausgewogen werden!

Nachteile der Methode:

- Für eine zuverlässige Messung sind Digitalwaagen mit geeigneter Auflösung (für Auflagerkräfte bis 200 g z. B. SOEHNLE Ultra 200, Auflösung: 0,1g) und Wägebereich nötig. Für „schwere Brocken“ sind bereits digitale Waagen mit nur 5g- oder 10g-Auflösung geeignet.
- Zur bequemen Rechnung ist ein PC mit Tabellenkalkulation nötig. Es geht auch „zu Fuß“, dieser Weg ist allerdings deutlich beschwerlicher!
- Je kleiner der Abstand **a** gewählt wird, um so unzuverlässiger wird die Berechnung der Schwerpunktlage bzw. der Gewichtskorrektur!

Abstände in mm, Massen bzw. Gewichte in g einsetzen!

Wie gehe ich vor?

1. Die Stützstellen **A** und **C** am Rumpf markieren. Sie sollten so weit wie möglich voneinander entfernt sein. Je dichter sie beieinander liegen, um so stärker beeinflussen bereits kleine Meßungenauigkeiten das Ergebnis!
2. Je nach Anwendungsfall alle oder nur einen Teil der Abstände **a**, **b**, **l** und **t** abmessen.
3. Die Schwerpunktlage **x_e** z.B. aus dem Bauplan entnehmen. Dies ist die „e“rforderliche Schwerpunktlage. Berechnet wird die tatsächliche oder augenblickliche „R“ücklage **x_R** (von der Nasenleiste aus gemessen) des Schwerpunkts.
4. Die Gewichte **G₁** und **G₂** ermitteln (nur hierfür muß das Modell vollständig zusammengebaut sein).
5. Die ermittelten Daten (Abmessungen, Gewichte) in die Excel-Tabelle eingeben oder in die Formeln einsetzen.
6. Die Ergebnisse ablesen  (oder ausrechnen ). Fertig!

Gibt man für die Abstände **b**, **l**, **t** und **x_e** nichts bzw. Null ein, erhält man als Ergebnis nur den Abstand des Schwerpunkts **SP**, gemessen von der **vorderen** Stützstelle in Richtung der hinteren Stützstelle! Außerdem bezieht sich eine erforderliche Gewichtskorrektur genau auf die Senkrechte bei **A**.

Für die Genauigkeit ist es zweckmäßig, wenn die Längsachse des Modells beim Wiegen horizontal liegt, sodass die Wirkungslinien der Auflagerkräfte einen rechten Winkel mit der Modelllängsachse bilden! Siehe hierzu auch **Abb. 1**.

Es beschleunigt und erleichtert die Arbeit bei Kontrollmessungen erheblich, wenn die Unterstützungsstellen am Modell dauerhaft gekennzeichnet werden. Das sind sozusagen die Eichmarken des Modells. Damit erspart man sich später das wiederholte Abmessen der Abstände. Das hat nichts mit der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu tun. Unter diesem Aspekt könnten jedesmal beliebige andere Abstände gewählt werden. Es ist lediglich eine Frage der Arbeitsökonomie. Bei Motormodellen erübrigt sich das im allgemeinen, da hier die Stützpunkte durch das Fahrwerk bzw. Fahrwerk und Sporn bereits vorgegeben sind. Die Fahrwerksbeine sollten sich aber nicht zu stark nach vorne oder hinten

durchbiegen, es sei denn, man misst die durchgebogene Position aus. Falls das nicht möglich ist, sollte besser der Rumpf direkt unterstützt werden.

Als universelle Stütze für den Rumpf hat sich ein Sperrholzbrett bewährt, das einen V-förmigen Ausschnitt erhält. Kurze, einseitig klebende Schaumstoffstreifen auf die Kanten des V-Ausschnitts geklebt, bieten Schutz gegen Verrutschen. In diesen Stützen liegen die meisten Rümpfe sicher und wegen der geringen Dicke des Brettchens ist die Stützstelle ausreichend genau zu definieren. Zudem ist die Gefahr gering, dass der Rumpf zur Seite wegkippt. Eine entsprechend kleinere Stütze kann man sich für das Heck anfertigen. Diese Arbeit muß man sich im allgemeinen nur einmal machen. Es sei denn, dass sehr ungewöhnlich geformte Modelle gewogen werden sollen, z. B. Nurflügel oder Hubschrauber. Dafür sind individuelle Lösungen erforderlich.

Folgendes sollte unbedingt beachtet werden, damit keine falschen, unplausiblen Ergebnisse produziert werden:

Kann aus irgendwelchen Gründen nur **eine** Waage verwendet werden, muss sehr genau darauf geachtet werden, daß der Teil des Rumpfes, der gerade nicht auf der Waage liegt, dennoch nur an der markierten und ausgemessenen Stelle aufliegt. Ist das nämlich nicht der Fall, gibt es falsche Meßwerte und folglich irreführende Ergebnisse. Weil dieses Detail sehr wichtig ist, habe ich die Situation, die unbedingt vermieden werden sollte, überdeutlich in **Abb. 4** dargestellt.

Die nun folgenden Erläuterungen sind für die Anwendung des Verfahrens unerheblich und überflüssig. Damit möchte ich nur denjenigen Rechnung tragen, die sich dafür interessieren, wie das denn nun eigentlich funktioniert.

Anmerkung: In der Herleitung von 5a – 5d erscheint der Abstand **xb**. In den Abb. 1 – 4 findet sich diese Größe jedoch nicht. Das liegt daran, dass **xb** nicht unmittelbar zugänglich ist, sondern die Differenz der m. E. einfacher zu messenden Abstände **b** und **l** darstellt.

Ähnlich verhält es sich mit den Werten **xe** und **xR**. In den Abb. 1 – 4 ist nur **x** zu finden. Die Größe **x** wird, wenn es sich um den erforderlichen Abstand des Schwerpunkts von der Nasenleiste (Nasenleiste ist üblich, könnte aber jede andere Bezugslinie sein) handelt, mit **xe** bezeichnet. Im Gegensatz dazu wird die zunächst vorhandene Rücklage des Schwerpunkts mit **xR** gekennzeichnet. Das eine ist also die gegebene Größe **xe**, das andere die berechnete Größe **xR**. Das Ziel ist, **xR = xe** zu erreichen.

Beispiel Segelmodell:

Setzt man in (1) die Abstände **a** und **l** sowie die abgelesenen Gewichte **G1** und **G2** ein, erhält man die augenblickliche Rücklage **xR** des Schwerpunkts **SP**. Wenn man (2) mit der Stelle **xe**, die z. B. der Bauplan vorgibt, in (3) einsetzt, ergibt sich die Gewichtskorrektur **GK** an der Unterstütsungsstelle. Mit **GK** erhält man aus (4) die Ballastkorrektur **BK** in der Ballastkammer zur Verschiebung des aktuellen Schwerpunkts von der Stelle **xR** an die erforderliche Stelle **xe**. Mit (5a) und (5b) erhält man die neuen Auflagerreaktionen **G1n** aus (5c) und **G2n** aus (5d), die allerdings hier ohne praktische Bedeutung sind. Ich führe sie nur der Vollständigkeit halber auf.

Beispiel Motormodell:

Setzt man in (1) die Abstände **a** und **l** sowie die abgelesenen Gewichte **G1** und **G2** ein, erhält man die augenblickliche Rücklage **xR** des Schwerpunkts **SP**. Wenn man (2) mit der Stelle **xe**, die der Bauplan vorgibt, in (3) einsetzt, ergibt sich die Gewichtskorrektur **GK** an der Unterstütsungsstelle. Mit **GK** erhält man aus (4) die Ballastkorrektur **BK** in der Ballastkammer zur Verschiebung des aktuellen Schwerpunkts von der Stelle **xR** an die erforderliche Stelle **xe**. Mit (5a) und (5b) erhält man die neuen Auflagerreaktionen **G1n** aus (5c) und **G2n** aus (5d), die allerdings ohne jede praktische Bedeutung sind. Ich führe sie nur der Vollständigkeit wegen auf. Die Lage **xL** des Schwerpunkts **SP** mit leerem Tank ergibt sich aus (6). Die Auflagerreaktionen **Gv** und **Gh** des vollen Tanks aus (7) und (8) addiert zu den Auflagerreaktionen des Modells mit leerem Tank (7a) und (8a), und diese eingesetzt in (9), ergeben die Lage **xv** des Schwerpunkts **SP** bei vollem Tank. Wobei hier beachtet werden muß, daß sich diese Ergebnisse auf die Bedingungen beziehen, bei denen der Schwerpunkt **SP** bereits an der gewünschten Stelle liegt! Die Masse des vollen Tanks kann man aus seinem Volumen [**cm³**] und der spezifischen Masse **dm** von Methanol berechnen (6a). Unter der Voraussetzung, daß die Seitenansicht des Tanks rechteckig ist, was bekanntlich auch für zylindrische Querschnitte gilt, ist der Schwerpunkt des Tanks der Schnittpunkt der Flächendiagonalen. Auf diese Weise läßt sich der Abstand **t**, **Abb. 2**, bestimmen. Das liest sich zugegebener Maßen etawas kompliziert. Kurz gesagt, man wiegt das Modell mal mit leerem Tank, dann mit vollem Tank. Das Ergebnis ist die vordere Lage **xv** und die hintere Lage **xL** des Schwerpunkts **SP**.

Eine kurze Schlussbemerkung sei mir noch gestattet. Diese Methode der Schwerpunktsbestimmung soll selbstverständlich nicht das bewährte, althergebrachte Pendelverfahren ablösen oder ersetzen. Es würde

mich aber freuen, wenn ich denjenigen eine Alternative aufgezeigt hätte, die aus irgendwelchen Gründen ein anderes Verfahren anwenden möchten oder müssen.

In gedruckter Form kann dieser Artikel in der vth-Publikation FMT-Extra RC MOTORFLUG 2000, Seite 51ff. nachgelesen werden.

© Eckart Müller 2002

Stand 21.03.2003

[◀ magazin home](#)

© RC-Network Modellsport e.V. 2002-2013
[Impressum](#)