

nennen die Engländer Henson, Wenham und Maxim, die Franzosen Pénaud, Tatin und Ader, der Österreicher Kreß, die Amerikaner Langley und Philipps und der deutsche Regierungsrat Hofmann.

A. Luftschiffahrt.

I. Grundbegriffe der Luftschiffahrt.

Auftrieb. Nach dem archimedischen Gesetz verliert ein in eine Flüssigkeit getauchter Körper so viel von seinem Gewicht, wie die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmenge wiegt. Dieses Gesetz gilt auch für die Gase. Auf jeden in der Luft befindlichen Körper wirken also zwei Kräfte, die Schwerkraft, gleich dem Gewicht des Körpers im luftleeren Raume, nach unten, und der Auftrieb, gleich dem Gewicht der verdrängten Luftmenge, nach oben. Sind diese beiden Kräfte gleich groß, so ruht der Körper gewichtslos auf seiner Unterlage; ist der Auftrieb größer als die Schwerkraft, so wird der Körper aufsteigen, und zwar so lange, bis beide Kräfte wieder gleich sind. — Eigengewicht und Luftgewicht sind also die beiden für den Auftrieb eines Ballons maßgebenden Faktoren. Je geringer das erstere und je größer das letztere, um so größer ist die Differenz, der „freie Auftrieb“. Möglichst großes Volumen und möglichst geringes Gewicht sind die in erster Linie an einen Ballon zu stellenden Forderungen. Ein luftleerer Hohlkörper mit gewichtsloser Hülle würde diesen Bedingungen am besten entsprechen. Jedoch läßt sich das sogenannte *Vakuumluftschiff* nicht ausführen, denn der Luftdruck beträgt auf 1 qcm Fläche rund 1 kg. Auf 1 qm Hüllenoberfläche würde also eine Belastung von 10 000 kg kommen. Ein Kugelballon von 1200 cbm Inhalt z. B. hat nun eine Oberfläche von ca. 547 qm. Auf diese Oberfläche würde also ein Druck von 5470 000 kg wirken. 1 cbm Luft wiegt ca. 1,3 kg; das Gesamtgewicht der von dem Kugelballon verdrängten Luft beträgt mithin $1200 \times 1,3 = 1560$ kg. Das Gesamtgewicht des Ballons muß also, damit er schwebefähig bleibt, kleiner sein als 1560 kg. Es ist einleuchtend, daß bei so geringem zulässigen Gewicht sich eine Versteifungskonstruktion, die dem ungeheuren Druck von 5470 000 kg standhält, nicht herstellen läßt. — Die Versteifung der Ballonhülle gegen den äußeren Luftdruck läßt sich praktisch nur durch den Gegendruck eines eingeschlossenen leichten Füllgases erzielen, wofür *Wasserstoff* und *Leuchtgas* in erster Linie in Betracht kommen, ersteres wegen seiner Leichtigkeit, letzteres wegen seiner Billigkeit. 1 cbm Wasserstoff wiegt ca. 0,09 kg; Leuchtgas je nach dem Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen 0,4—0,6 kg. In der praktischen Luftschiffahrt rechnet man bei Wasserstoff mit einem Auftrieb von 1,1 kg pro cbm, bei Leuchtgas mit 0,7 kg auf 1 cbm.

Die Größe des Auftriebes eines Ballons hängt außer vom Verdrängungsvolumen und vom Eigengewicht noch von mehreren anderen Faktoren ab. Luftdruck und Lufttemperatur beeinflussen das Gewicht der verdrängten Luft, Gastemperatur und Diffusion das Gewicht des Füllgases. Nach dem Gesetz von Boyle-Mariotte ist die Dichte eines Gases, mithin das spezifische Gewicht, proportional dem Druck; das Volumen des Gases dem Druck umgekehrt proportional. Steigt also ein Ballon von einer Stelle, wo ein Luftdruck von 760 mm herrscht, auf bis zu einer Höhe, wo der Luftdruck nur noch $\frac{3}{4}$ dieser Größe, also 570 mm, beträgt, so ist auch das Gewicht der verdrängten Luft, mithin der Auftrieb, um $\frac{1}{4}$ vermindert. Mit der Abnahme des äußeren Luftdruckes muß nun aber auch der Druck des Füllgases in gleicher Weise abnehmen, wobei die Druckabnahme eine Volumenvergrößerung zur Folge hat. Erfordert das eingeschlossene Füllgas bei 760 mm Barometerstand einen Raum von V cbm, so erfordert es bei 570 mm einen Raum von $V \cdot \frac{760}{570} = \frac{4}{3} V$. Da das Innere der Ballonhülle, pralle Anfangsfüllung vorausgesetzt, nur für V cbm Raum gewährt, muß $\frac{1}{4}$ der Füllgasmenge ins Freie strömen, d. h. das Gasgewicht verringert sich um $\frac{1}{4}$, wodurch wieder ein Auftriebszuwachs entsteht. Da aber das Gewicht von 1 cbm Wasserstoff nur rund $\frac{1}{14}$ des Gewichtes von 1 cbm Luft beträgt, so fällt dieser Auftriebszuwachs infolge Abnahme des Gasgewichtes gegenüber der Auftriebsabnahme infolge Verringerung des Gewichtes der verdrängten Luft kaum ins Gewicht. Ein aufsteigender Ballon verliert also

allein infolge der Abnahme des Luftdruckes stets an Auftrieb. Der Ballon wird so lange steigen, bis Auftrieb und Schwerkraft gleich groß sind, d. h. bis der „freie Auftrieb“ gleich Null ist und der Ballon sich im statischen Gleichgewicht befindet. Die Höhenlage, in der dies eintritt, ist die maximale Steighöhe.

Einen weiteren Einfluß auf den Auftrieb üben Lufttemperatur und Gastemperatur aus. Jedes Gas dehnt sich bei einer Temperaturerhöhung von 1°C um $\frac{1}{273}$ oder um rund 0,37 Proz. seines Volumens aus. Mit zunehmender Temperatur verringert sich also die Dichte, mithin das spezifische Gewicht von Luft und Füllgas. Da der Einfluß der Gewichtsverringerung der Luft stärker ist als der der Gewichtsverringerung des Füllgases, so nimmt mit zunehmender Lufttemperatur der Auftrieb stets ab. Die Gastemperatur wird außer durch die Lufttemperatur noch durch die Strahlwärme der Sonne beeinflusst, welche die Ballonhülle und durch diese das Füllgas erwärmt und somit eine Auftriebssteigerung bewirkt. Tritt der Ballon in Wolkenschatten, so hört der Einfluß der Strahlwärme plötzlich auf, der Auftrieb sinkt schnell und der Ballon fällt. — Schließlich ist noch der Einfluß der *Diffusion* zu erwähnen. Durch die Poren der Hülle, die vollkommen gasdicht nicht hergestellt werden kann, dringt allmählich Füllgas nach außen und atmosphärische Luft nach innen. Hierdurch wird das spezifische Gewicht des Füllgases allmählich vergrößert und der Auftrieb entsprechend verringert.

Vortrieb. Durch Vergrößerung und Verringerung des Auftriebes, durch Ballastausgabe und Gasauslaß, ist jeder Ballon in vertikaler Richtung lenkbar. Soll er jedoch imstande sein, unabhängig vom Winde eine bestimmte horizontale Flugrichtung einzuschlagen, so muß ihm eine Eigengeschwindigkeit verliehen werden durch Schaffung einer Vortriebskraft. Hierdurch wird der Freiballon zum *Luftschiff*. Jedes Luftschiff, das gegenüber der umgebenden Luftmasse eine Eigengeschwindigkeit besitzt, erfährt stets einen der Vortriebskraft entgegengerichteten Luftwiderstand. Dieser Luftwiderstand setzt sich zusammen aus zwei Einzelwiderständen, dem *Form-* oder *Stirnwiderstand* und dem *Reibungswiderstand*. Ersterer ist abhängig von der Form des Luftschiffes, letzterer von der Größe der luftberührten Oberfläche. Der Luftwiderstand wächst erfahrungsgemäß mit dem Quadrat der Geschwindigkeit und im einfachen Verhältnis mit dem Querschnitt. Um letzteren zu verringern, wählt man möglichst langgestreckte Tragkörper, jedoch ist dieses Bestreben nur innerhalb gewisser Grenzen berechtigt. Ein langgestreckter Tragkörper hat bei gleichem Inhalt eine erheblich größere Oberfläche als ein kurzer, gedrungener, und somit einen erheblich größeren Reibungswiderstand. Das günstigste Streckungsverhältnis für einen bestimmten Inhalt liegt erfahrungsgemäß zwischen den Werten 1:6 und 1:8. Als günstigste Form hat sich die sogenannte *Fischform* erwiesen, bei welcher der größte Durchmesser vor der Mitte liegt, so daß das Vorderende gedrungener, das Hinterende schlanker ist. Wegen der Schwierigkeit der Beschaffung einer genügend großen Vortriebskraft stand die Entwicklung der Luftschiffahrt nach Erfindung des Luftballons ein Jahrhundert hindurch fast still. Um diese Schwierigkeit zu verstehen, muß man beachten, daß die erforderliche Motorleistung annähernd mit der dritten Potenz der Eigengeschwindigkeit fortschreitet. Wenn ein Luftschiff z. B. für eine Geschwindigkeit von 5 m in der Sekunde einen Motor von 10 PS braucht, dann benötigt es für 15 m pro Sekunde, d. h. für eine Geschwindigkeit, die für eine einigermaßen ausreichende Verwendbarkeit unbedingt erforderlich ist, einen Motor von $10 \times 3^3 = 270$ PS. Erst nachdem im Benzinmotor eine Antriebskraft von genügender Stärke und Leichtigkeit gefunden war, konnte sich die Luftschiffahrt weiter entwickeln.

Steuerung. Für ein Luftschiff, das eine genügende Eigengeschwindigkeit besitzt, bietet die Steuerung kaum Schwierigkeiten. Die Seitensteuerung erfolgt wie beim Wasserschiff durch ein um eine vertikale Achse drehbares, in der Regel am Heck angebrachtes Steuerruder. Für die Höhensteuerung stehen zunächst dieselben Mittel zur Verfügung wie bei jedem Freiballon, d. h. Ballastausgabe und Gasauslaß. Diese Mittel können bei einem Luftschiff nur in Ausnahmefällen angewendet werden, da dasselbe nicht wie ein Freiballon nach jeder Fahrt entleert wird, sondern seine teure Wasserstofffüllung möglichst lange erhalten muß. Man erzielt daher bei Luftschiffen

die Höhensteuerung auf dynamischem Wege, mittels besonderer *Höhensteuer*, bestehend aus Flächen, die um horizontale Querachsen drehbar sind. Befinden sich diese Flächen in geneigter Stellung, so erzeugt der Luftwiderstand, wenn die Vorderkante der Fläche höher steht als die Hinterkante, eine aufwärts gerichtete, im umgekehrten Fall eine abwärts gerichtete Kraft. Es ist daher möglich, mit derartigen Höhensteuern ein Luftschiff dauernd in einer Höhenlage zu halten, in der es statisch nicht im Gleichgewicht ist, d. h. in der das Gewicht der verdrängten Luft eine andere Größe besitzt als das Gesamtgewicht des Luftschiffes. Anstatt besondere Höhensteuerflächen anzuwenden, kann man auch den Tragkörper selbst durch Gewichtsverschiebung schräg stellen.

Für die Erhaltung der Steuerfähigkeit eines Luftschiffes ist es nötig, daß der Tragkörper stets seine Form behält. Nach den Mitteln, die hierfür zur Anwendung kommen, unterscheidet man Ballonetluftschiffe (*Prallschiffe*) und ballonetlose Luftschiffe (*Starrschiffe*). Bei ersteren sind im Innern des unstarren Tragkörpers Luftsäcke (*Ballonets*) angeordnet, die nach Maßgabe des eintretenden Gasverlustes mit einem geringen Überdruck aufgeblasen werden und so die Prallform erhalten; bei letzteren ist der Tragkörper als starres stoffüberzogenes Gerüst ausgebildet, in dessen Innern die eigentlichen Gasbehälter liegen, so daß Gasverluste die Außenform nicht verändern.

Stabilität. Unter Stabilität eines Luftschiffes versteht man das Verhalten gegenüber Einflüssen, die bestrebt sind, Drehungen um die drei Raumachsen des Fahrzeuges herbeizuführen. Den Neigungen um die horizontale Querachse wirkt die Längsstabilität, denen um die horizontale Längsachse die Quer- oder Seitenstabilität entgegen. Eine Stabilität im weiteren Sinne ist die Stabilität des Kurses, die den Drehungen um die vertikale Mittelachse entgegenwirkt. Die Längsstabilität wird hauptsächlich beeinflußt durch Ungleichheiten im Widerstand infolge böigen Windes, durch ungleiches Arbeiten der Antriebsorgane, durch ungleiche Gasverluste in den einzelnen Zellen oder durch sonstige Gewichtsverschiebungen in der Längsrichtung. Den hierdurch entstehenden Schwankungen (Stampfbewegungen) begegnet man durch Anordnung fester horizontaler *Dämpfungsflächen*. Die Bewegungen um die horizontale Längsachse (Schlingerbewegungen), denen die Querstabilität entgegenwirkt, sind infolge der geringen Breitenausdehnung der Luftschiffe meist erheblich geringer als die Stampfbewegungen; man dämpft sie durch vertikale Starrflächen, sogenannte *Kielflächen*, die gleichzeitig die Stabilität des Kurses unterstützen. Sämtliche Dämpfungs- und Kielflächen müssen möglichst weit von den betreffenden Drehachsen liegen.

II. Ballone ohne Motor.

1. Der Freiballon.

Für den Freiballon, der eine Eigengeschwindigkeit nicht besitzt, mithin auch keinen Luftwiderstand bei seiner Horizontalbewegung erfährt, sondern vom Winde getragen wird, kommt es in der Hauptsache auf günstige Auftriebsverhältnisse an, d. h. der Ballon muß bei geringem Gewicht möglichst großes Volumen haben. Die diesen Forderungen am besten Rechnung tragende und beim motorlosen Freiballon wohl ausschließlich angewendete Kugelform ergibt bei geringster Oberfläche und somit geringstem Hüllengewicht den größten Inhalt, die größte Luftverdrängung und somit den größten Auftrieb.

Der moderne Freiballon (vgl. Schema, Fig. 1234) besteht aus folgenden Hauptteilen: Hülle (mit Ventil, Reißbahn, Füllansatz), Netz (mit Auslaufleinen), Korbring, Korb (mit Ausrüstung) und Schleppseil.

Die **Hülle** (Fig. 1234) besteht meist aus gummiertem Baumwollstoff. Auch Seidenstoffe, durch Firnisanstrich gedichtet, finden vielfach Verwendung. Das leichteste, freilich auch teuerste und in der Behandlung schwierigste Material ist die aus Tierdärmen hergestellte Goldschlägerhaut. Zur Herstellung der Kugelform wird der Hüllentoff zu einzelnen, nach den Enden zu sich verjüngenden Bahnen zugeschnitten, die miteinander vernäht werden. — Am tiefsten Punkt der kugelförmigen *Hülle* 1 ist der schlauchartige *Füllansatz* 3 angeschlossen, durch den das Traggas