

Die Luftschiffahrt und die modernen Luftfahrzeuge.

Von

Ferdinand Graf v. Zeppelin jr.

(Sonderabdruck aus der Denkschrift der Ersten Internationalen Luftschiffahrts-
Ausstellung (Ila) zu Frankfurt a. M. 1909. Band I: Wissenschaftliche Vorträge.
Verlag von Julius Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH.)

ISBN 978-3-662-24055-7
DOI 10.1007/978-3-662-26167-5

ISBN 978-3-662-26167-5 (eBook)

Die Luftschiffahrt und die modernen Luftfahrzeuge.

Von

Diplom-Ingenieur **Ferdinand Graf v. Zeppelin jr.**-Friedrichshafen.

Nach den Grundprinzipien der Luftschiffahrt gibt es zwei Möglichkeiten, sich in der Luft schwebend zu erhalten, und zwar entweder durch Benützung des Auftriebes eines Gases oder durch Erzeugung eines aufwärts gerichteten Luftdruckes gegen Tragflächen. Mit technischen Ausdrücken nennt man die Wissenschaften, die sich mit diesen beiden Grundbedingungen beschäftigen, „Aerostatik“ und „Aerodynamik“.

Aerostatische Luftfahrzeuge sind demnach solche, welche Lasten mit Hilfe von Hohlkörpern heben, die mit einem gasförmigen Medium, leichter als die atmosphärische Luft, gefüllt sind (also Fahrzeuge, welche ein Gas in sich einschließen vom spez. Gewicht kleiner als 1, bezogen auf Luft von 0° C und 760 mm Druck).

Bei den aerodynamischen Luftfahrzeugen wird die Last ohne Ballon mittels Schrauben oder anderer mechanischen Vorrichtungen in willkürlicher Richtung durch die Luft getragen.

Begreiflicherweise sind die aerodynamischen Bestrebungen die ältesten; denn hier hatte der Mensch im Flug der Vögel stets die vollendetste Schöpfung vor Augen, und so spricht sich denn auch in zahlreichen Sagen seine Sehnsucht aus, den Vögeln gleich die Luft zu durchqueren und sich das Luftmeer ebenso untertan zu machen wie das Wasserreich.

Die bekanntesten solcher Legenden sind diejenigen von **Phrixos** und **Helle**, welche auf einem goldfließigen Widder über das Meer entflohen, und von **Ikarus**, welcher bei seinem Fluge der Sonne zu nahe kam und durch das Schmelzen des Wachses, das die Federn seiner Flügel zusammenhielt, den Tod fand.

Von den Chinesen wird behauptet, daß sie schon in früheren Zeiten **aerostatische** Luftfahrzeuge gebaut haben. In den Erzählungen eines französischen Missionars aus dem Jahre 1694 wird berichtet, daß bereits 1306 in Peking zur Feier der Thronbesteigung des Kaisers **Fo-Kien** ein Luftballon aufgestiegen sei.

Auch **Leonardo da Vinci** hat sich mit Flugproblemen beschäftigt, und seine Arbeiten auf diesem Gebiet zeugen von dem außerordentlichen Verständnis dieses großen Künstlers auch für technische Fragen.

Den **ersten nachweisbaren Flug** hat 1617 **Fauste Veranzio** in Venedig ausgeführt, indem er sich mittels eines sehr primitiven Fallschirmes von einem Turm herabließ.

Von hoher theoretischer Bedeutung ist endlich der Plan des *Cyrano de Bergerac*, Gefäße an seinen Körper zu binden und durch Erwärmung der darin enthaltenen Luft hochzufliegen.

Es liegt hierin bereits auch ein Anklang an die späteren Montgolfieren. Dies sind Papierballons, die ihren Namen von ihren Erfindern *Joseph* und *Stephan Montgolfier* erhalten haben und durch Erwärmung der in den Ballons enthaltenen Luft zum Steigen gebracht werden. Nach mehreren mißglückten Versuchen bauten die Brüder *Montgolfier* einen Ballon von 20 cbm Inhalt und erreichten mit diesem ca. 300 m Höhe. Damit war eigentlich das erste aerostatische Luftfahrzeug erfunden.

Einige Jahre später veranlaßte der Professor *Faujas de Saint-Fond* den Physiker *Charles*, einen Aerostaten herzustellen, und am 29. August 1783 kündeten Kanonenschüsse den Parisern an, daß dieses erste Luftfahrzeug vor ihren Toren aufsteigen werde.

So ist also trotz der ursprünglichen Bestrebungen der Menschen auf aerodynamischem Gebiet das aerostatische Luftfahrzeug vor dem aerodynamischen, der tragende Ballon vor der Flugmaschine erfunden worden.

Die weitere Entwicklung der Bau- und Fahrtechnik der aerostatischen Fahrzeuge nahm nun unaufhaltsam ihren Fortgang, und mit den Fortschritten, die auf dem Gebiet der Physik, der Technik sowie der Erforschung des Luftmeeres stetig gemacht wurden, verminderten sich auch die Gefahren der Ballonfahrt.

Allein solche Aerostate konnten die menschlichen Wünsche und Bedürfnisse auf die Dauer nicht voll befriedigen, war man doch mit diesen Fahrzeugen den jeweiligen Luftströmungen willenlos preisgegeben.

Kein Wunder also, daß der rastlose menschliche Geist nun auf Mittel und Wege sann, auch diese Beschränkung seiner Bewegungsfreiheit zu überwinden. Damit war man wieder vor die Frage gestellt, den freien Flug des Menschen mit Hilfe von Flugmaschinen zu erzielen, oder aber dadurch, daß man dem Ballon eine Eigenbewegung erteilte. Die Versuche, auf letzterem Wege zum Ziele zu gelangen, scheiterten anfänglich mangels ausreichender wissenschaftlicher Kenntnisse, vor allem aber aus Gründen der Unzulänglichkeit der angewandten Vorrichtungen und technischen Hilfsmittel, welche die Eigenbewegung erzeugen sollten. Natürlich hatten diese negativen Resultate andererseits zur Folge, daß die Anhänger der Flugmaschinentheorie mit um so größerem Eifer an die Verwirklichung ihrer Ideen gingen.

Der Gedanke, sich gleich dem Vogel mittels beweglicher Flügel durch die Luft zu tragen, war schon deshalb praktisch nicht ausführbar, weil die menschliche Kraft gar nicht ausreicht, um derart große Flügel zu bewegen, die den verhältnismäßig schweren menschlichen Körper emporzuheben vermöchten.

Auf einen anderen Weg wiesen dagegen die Beobachtungen, welche man mit leichten ebenen Flächen, sogenannten Drachen, machte, die bekanntlich emporsteigen, sobald sie in einer zur Horizontalen geneigten Lage bewegt oder in dieser Lage gegen eine genügend große Luftströmung gehalten werden, weil hierbei eine Winddruckkomponente nach oben, also gegen die Drachenfläche, entsteht. Die

Drachen sind, beiläufig bemerkt, in neuerer Zeit vielfach zur Erforschung der Atmosphäre benutzt worden, indem man an denselben Registrierinstrumente befestigt hat und sie mit letzteren aufsteigen ließ. Die meteorologische Station Lindenberg hat beispielsweise am 25. November 1905 einen Drachenaufstieg bis auf 6430 m Höhe erzielt.

In Anlehnung an diesen Drachenflug konstruierte man nun die verschiedensten Ebenen und schwach gekrümmten Tragflächen, sogenannte Aeroplane, versah sie mit Steuerflächen und, als die leichten Kleinmotoren erfunden waren, mit Propellern, wodurch die Eigenbewegung erzielt wurde. Man gab sich nun ohne weiteres der Illusion hin, mit diesen Flugmaschinen wirklich fliegen zu können, allein die vielen Abstürze, bei welchen so mancher Erfinder sein Leben einbüßte, wenn er sich mit seiner Flugmaschine nur in verhältnismäßig sehr geringe Höhe wagte, bewiesen deutlich genug, daß man sich vorerst einer Täuschung hingeeben hatte. Wenn auch in den letzten Jahren auf diesem Gebiet bedeutende Fortschritte gemacht und mancher große Erfolg erzielt worden ist, so kann doch auch gegenwärtig noch kaum von einem bestimmten Abschluß in der Entwicklung der Flugmaschine gesprochen werden. Ob es aber je gelingen wird, der Flugmaschine diejenige Tragfähigkeit zu verleihen, welche ihre allgemeinere Verwendung erst ermöglichen würde, ist zum mindesten noch fraglich.

Deshalb hat schließlich doch der **B a l l o n m i t E i g e n b e w e g u n g**, das eigentliche Luftschiff, im Wettstreit beider Flugsysteme bis jetzt den Sieg davongetragen und wird auch fernerhin zur Lösung größerer Aufgaben im Frieden wie im Kriege wohl allein in Frage kommen.

Das **t r a g e n d e E l e m e n t** dieser Fahrzeuge war ja bereits vorhanden. Wie aber sollte man nun dem Ballon eine genügende Eigenbewegung geben, ohne welche die Lenkbarkeit nicht möglich ist?

Durch die anfänglich negativen Resultate entmutigt, hatte man sich bereits daran gewöhnt, das Problem, einem Luftfahrzeug eine ausreichende Eigenbewegung zu erteilen, als eine Utopie zu betrachten und Männer, die sich trotzdem noch ernstlich mit der Lösung dieses Problems beschäftigten, für unverbesserliche Phantasten zu halten.

Allein die Versuche von **G i f f a r d 1852—55**, **D u p u y d e L ô m e 1872**, **H ä n l e i n 1872—74** und vor allem **R e n a r d 1884** zeigten bereits, daß der hier beschrittene Weg zur Lösung des Problems der **r i c h t i g e** war, wenn auch mit den damaligen Mitteln der Technik, insbesondere des Maschinenbaues, ein Motor-Luftschiff von genügender Leistungsfähigkeit noch nicht konstruiert werden konnte.

Legen wir uns die Frage vor, weshalb trotz langer eifriger Arbeit tüchtiger Ingenieure und Fachleute das Luftschiff sich nicht ähnlich seiner Schwester, dem Seeschiffe, entwickeln konnte, so ist eine Antwort hierauf unschwer zu finden.

Da ein Seedampfer nur verhältnismäßig geringe Strömungen zu überwinden hat, so ist ein solcher bei einer Eigenbewegung von 20 km pro Stunde den letzteren schon weit überlegen, während infolge der viel größeren Luftströmungen ein Luftschiff von 40 km Stundengeschwindigkeit gerade erst praktisch verwendbar ist.

Ein weiteres günstiges Moment für das Seeschiff ist das größere Gewicht des Wassers im Vergleich zu demjenigen der Luft und damit auch die bedeutend größere

Tragfähigkeit des flüssigen Elements. Ein Seeschiff kann deshalb sehr fest gebaut werden und Maschinen von tausenden von Pferdekräften zum Betrieb seiner Propeller aufnehmen, während ein gleichgroßes Luftschiff mit seiner bescheidenen Tragfähigkeit nur verhältnismäßig sehr schwache Maschinen für den Antrieb seiner Schrauben verwenden kann.

Nun wächst außerdem der Luftwiderstand mit dem Quadrat der Eigengeschwindigkeit, also die erforderliche Maschinenkraft mit der dritten Potenz zur Eigenbewegung. Wollte man z. B. die Eigenbewegung des Renard'schen Luftschiffes „La France“, welches mit einem Motor von ca. 12 PS ungefähr 6 m/sec Geschwindigkeit entwickeln konnte, mit der doppelten Geschwindigkeit, also mit 12 m/sec fortbewegen, so hätte man dieses Luftschiff mit einem Motor von nicht doppelter, sondern 6 facher Leistung, also von 72 PS versehen müssen. Einen solchen Motor hätte aber dieses Luftschiff nicht zu tragen vermocht.

Schon an diesem Mißverhältnis der Tragfähigkeit von Luftschiffen und dem Gewicht sowie der Leistung der Motoren scheiterten daher auch alle Versuche bis an die neuere Zeit. Dank dem unaufhaltsamen Fortschritt der Technik, insbesondere des Kleinmotorenbaues, welcher, angeregt durch den Automobil-Sport, einen rapiden Aufschwung nahm, ist endlich das Problem der Motor-Luftschiffahrt in ein aussichtsreiches Stadium getreten, in dem es nun möglich ist, Motoren von 100 und mehr Pferdekräften in Luftschiffe einzubauen, ohne deren Dimensionen bis ins Ungemessene steigern zu müssen und hierdurch wiederum den Luftwiderstand zu vergrößern.

Mit dem Vorhandensein und dem Einbau von leichten und doch leistungsfähigen Motoren allein ist indessen das Problem noch lange nicht gelöst. Nachdem es gelungen war, Luftschiffen größere Eigenbewegung zu geben, zeigten sich neue, bisher noch gar nicht in Erscheinung getretene Schwierigkeiten, deren Überwindung neue Überlegungen und Versuche erforderten. Dazu trat noch die weit schwierigere Führung eines Luftschiffes im Vergleich zu derjenigen des Seeschiffes infolge der ungemein wechselvollen und komplizierten Vorgänge im Luftmeer und der ganzen physikalischen Eigenschaften der Atmosphäre.

Die weiteren Grundforderungen, wie unbedingte, möglichst exakte Erhaltung der prallgefüllten Ballonhülle, die Sicherung der Stabilität auch in der Längsachse bei schneller Fahrt, die Erhaltung des Kurses sowie der Steuerfähigkeit nicht nur in horizontaler, sondern auch in vertikaler Richtung, machten ganz besondere Organe und Anordnungen notwendig.

Endlich handelte es sich noch darum, eine günstige, den Verhältnissen möglichst Rechnung tragende Form der Ballonhülle zu finden. In Rücksicht auf den prozentualen Gasverlust durch Diffusion ist die Kugel die günstigste Form, weil sie bei kleinster Oberfläche den spezifisch größten Inhalt im Vergleich zu anderen Körperformen besitzt. Auch eignet sich diese Form bei einer einfachen Ballonhülle ohne starre Versteifungen am besten für die Belastung durch ein einzelnes und verhältnismäßig schweres Gewicht. Da aber bei einem Luftfahrzeug mit Eigenbewegung bei möglichst großem Gasvolumen dem Luftwiderstand ein tunlichst kleiner Querschnitt entgegengesetzt werden muß, so ist man zur Anwendung einer gestreckteren, mehr und mehr zylindrischen Form der Hülle übergegangen, nachdem

es durch Anwendung eines von dem französischen General Meusnier erfundenen Luftsackes, „Ballonett“ genannt, gelungen war, einen Überdruck im Innern der Ballonhülle künstlich zu erzeugen und so die Form der letzteren zu erhalten. Bekanntlich erleidet beim Sinken des Ballons das in der Hülle befindliche Gas eine Kontraktion, es nimmt ein kleineres Volumen ein, während umgekehrt beim Aufsteigen des Ballons eine Expansion (Ausdehnung) des Gases entsprechend dem abnehmenden äußeren Luftdruck eintritt. Diese Änderung des Gasvolumens wird nun durch entgegengesetzte Volumenänderung des Ballonetts ausgeglichen, indem letzterem mittels eines Ventilators Luft eingepumpt beziehungsweise Luft entzogen wird. Im allgemeinen wird die Größe des Ballonetts von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{5}$ des Totalvolumens der Gashülle ausreichen, falls man nicht größere Höhen als ca. 2500 m mit dem Fahrzeug erreichen will.

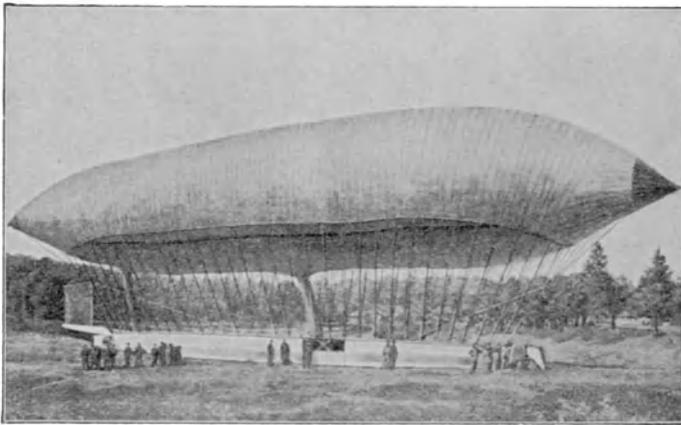


Fig. 1.

„La France“ von Renard und Krebs.

Von Bedeutung sind ferner die selbsttätig wirkenden Ventile des Ballonetts und des Gasraumes, welche den Zweck haben, ein Zerreißen der betreffenden Hüllen beim Entstehen eines zu großen inneren Überdruckes zu verhindern.

Damit sind die Grundzüge für die Konstruktion des nichtstarr en Luftschiffes oder, richtiger gesagt, des lenkbaren Ballons gegeben.

Zu dem Typ dieser nichtstarr en Fahrzeuge gehören die bereits erwähnten lenkbaren Ballons von Giffard, Dupuy de Lôme, Hänlein, der Gebrüder Tissandier, die „La France“ von Renard und Krebs (Fig. 1¹⁾), die Ballons von Santos Dumont und das Luftschiff des Majors von Parseval.

Der durch die Erfindung von Drachenballons, System Parseval-Sigsfeld, in Luftschifferkreisen schon früher bekannt gewordene bayrische Major von Parseval hat auch bei dem Entwurf seines Luftschiffes teilweise ganz eigenartige konstruktive Maßnahmen getroffen, die ich hier kurz erwähnen möchte.

¹⁾ Die Figuren 1, 6, 7 und 10 sind entnommen aus: Hildebrandt, Luftschiffahrt, 2. Aufl., München 1910.

Wie die Abbildung (Fig. 2) zeigt, hat die Ballonhülle dieses Fahrzeuges eine einfache zylindrische Form. Innerhalb derselben befindet sich am vorderen und hinteren Ende je ein Ballonett, die Gondel ist ziemlich tief unter dem Ballon derart aufgehängt, daß sie sich auch bei einer Schräglage der Ballonhülle stets lotrecht unter der Ballonmitte befindet. Die Einpressung der Luft in die Ballonetts geschieht mittels eines Ventilators. Diese Vorrichtung ist zugleich so ausgebildet, daß in das eine Ballonett Luft eingeführt werden kann, während gleichzeitig aus dem anderen Ballonett Luft ausströmt. Dadurch ändert sich der Auftrieb der beiden Ballonhälften. Wird die Hülle des Fahrzeuges dann mehr oder weniger schrägestellt, so entsteht eine Drachenwirkung, welche die Höhenlage des Fahrzeuges verändert. Das ist die eigenartige Höhensteuerung des *Parseval'schen* Ballons. Auch eine besondere Art von Schraube ist bei diesem Fahrzeug zur Anwendung gelangt.

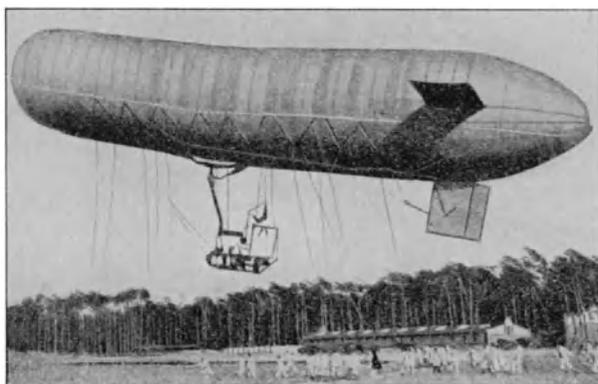


Fig. 2.

Parseval-Ballon. Abfahrt am 26. Juli 1906.

Die Flügel derselben hängen beim Stillstand schlaff herunter, stellen sich aber beim Betrieb infolge der zentrifugalen Kräfte auf und spannen sich.

In statischer Beziehung besitzen alle Ballonettfahrzeuge den schwerwiegenden Nachteil, daß durch die auftretenden Kräfte eine sofortige Deformation der Ballonhülle eintritt, sobald dieselbe aus irgendeiner Ursache durch inneren Überdruck der Gasfüllung nicht mehr steif erhalten werden kann. Eine solche Konstruktion birgt daher mancherlei Gefahren in sich, wie wir bei dem Vergleich der verschiedenen Systeme noch sehen werden.

Man hat diesen Übelstand schließlich auch erkannt und suchte ihn durch Anwendung eines starren Rahmens unter der Ballonhülle wenigstens zu verringern. So entstand in Frankreich ein neuer Typ, das *halbstarre Motor-Luftschiff* der Gebrüder *Lebudy*, erbaut von dem Ingenieur *Juillot*. Dieser Typ zeigt schon Anfänge des Überganges zum starren System. Das erste Modell dieser Art wurde im Jahre 1902 fertiggestellt.

Es dürfte von Interesse sein, auf die Konstruktion des „*Lebudy*“ näher einzugehen, um so mehr als dieser Typ von der französischen Armee für ihre Kriegsluftschiffe angenommen worden ist.

Die äußere Form der Ballonhülle ist aus der Abbildung der Patrie (Fig. 5) ersichtlich: Ihre Längsachse ist 58 m lang, die Oberfläche beträgt 1300 qm, was bei der vorliegenden Form der Hülle einen Inhalt von 2666 cbm ergibt. Die untere

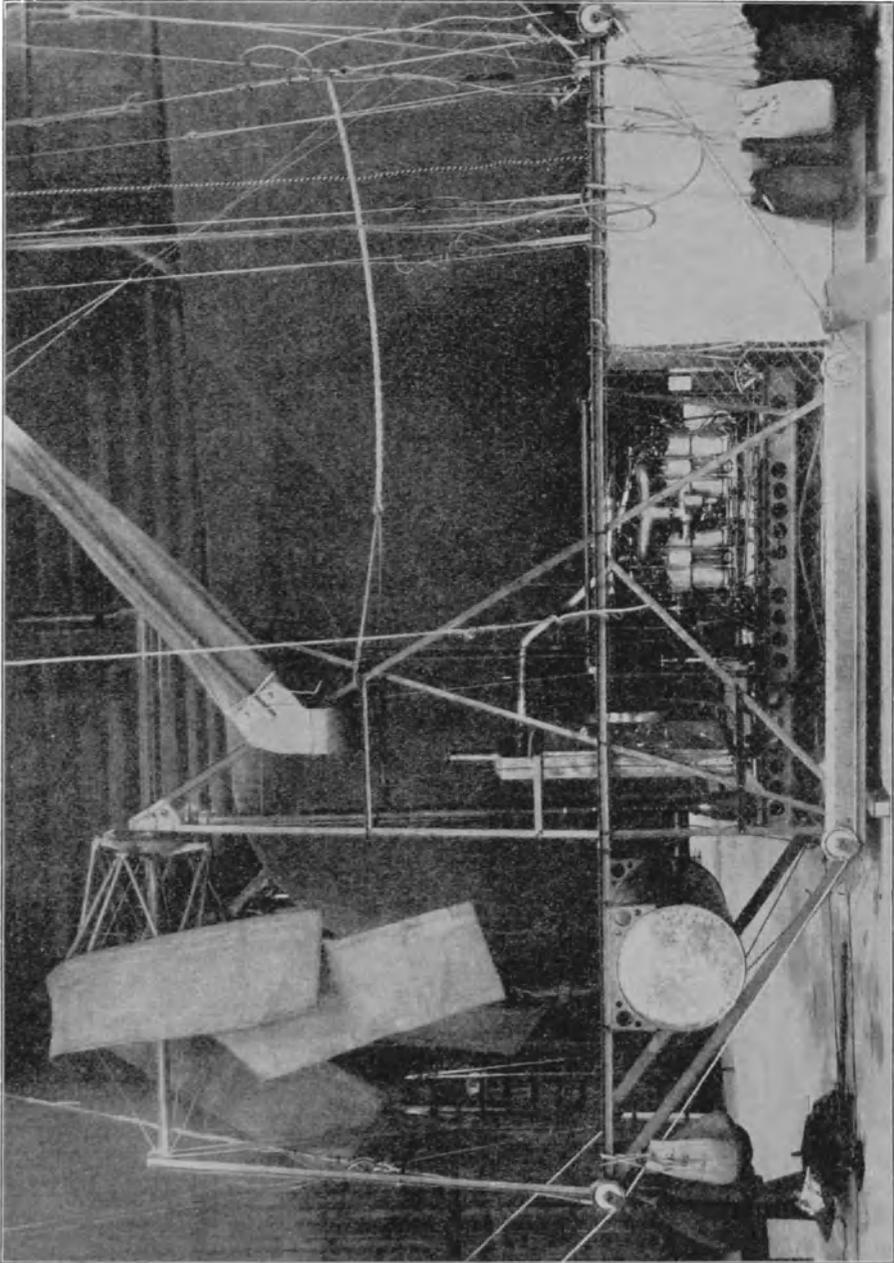


Fig. 3.
Parseval-Gondel mit ruhender Luftschraube.

Fläche der Ballonhülle ist teilweise direkt mit einem starren, versteiften Metallrahmen verbunden, unterhalb welchem die Gondel befestigt ist.

Zur Versteifung der ca. 3 m unter dem Rahmen befindlichen Gondel waren 5—6 mm dicke Stahldrähte verwendet worden. Die Gondel in Form eines Kahn

mit flachem Boden hatte eine Länge von 4,80 m, eine Breite von 1,60 m und eine Höhe von 1 m. Ihr Gerippe bestand aus Stahl, die Bekleidung aus dünnem Aluminiumblech. Zur Erhöhung ihrer Versteifung sowie zur Aufnahme des Stoßes bei der Landung hatte der Boden der Gondel eine Schutzvorrichtung aus Stahl-

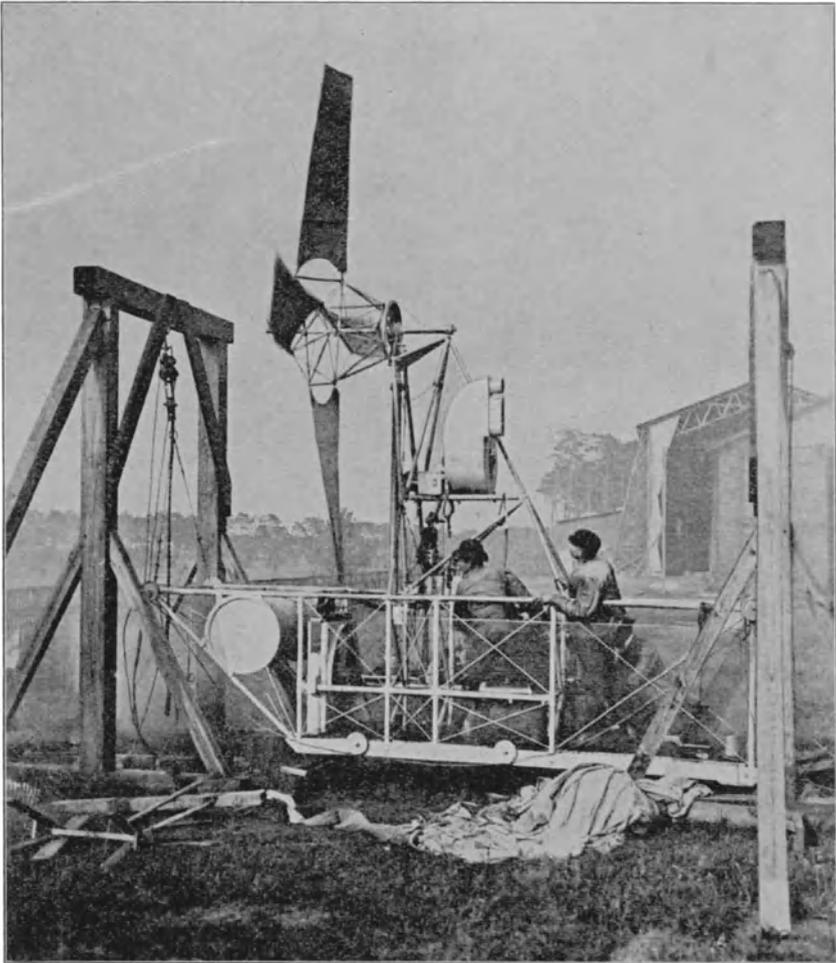


Fig. 4¹).

Parseval-Gondel mit rotierender Schraube.

rohren in der Form einer mit der Spitze nach unten zeigenden Pyramide. In der Gondel war ein 40-PS.-Motor eingebaut, welcher je eine Schraube rechts und links der Gondel antrieb.

Der Motor machte im Maximum 1200 Touren pro Minute und verbrauchte 14 kg Benzin in der Stunde; 220 l konnten im ganzen mitgeführt werden.

¹) Die Figuren 3—4 sind entnommen aus: v. Parseval, Motorballon und Flugmaschine, Wiesbaden 1909.

Das Ballonett bestand aus drei Teilen und hatte einen Gesamtvolumen von 500 cbm. Dessen Füllung erfolgte mittels eines Ventilators, der während der Fahrt durch den Motor, beim Stillstand dagegen durch eine kleine Dynamomaschine angetrieben wurde, welche ihren Betriebsstrom von einer Akkumulatorenbatterie erhielt.

Außer einem Manövrierventil besaß der Ballon noch zwei Sicherheitsventile, die unter 35 mm Druck das Gas austreten ließen.

Um die Stabilität des Ballons zu gewährleisten, waren verschiedene Vorkehrungen getroffen.

Unter dem bereits erwähnten festen Rahmen des Ballons war eine 98 qm große horizontale Fläche aus Seide gespannt, welche unter sich wieder einen senkrechten Stoffkiel von kleineren Abmessungen hatte.

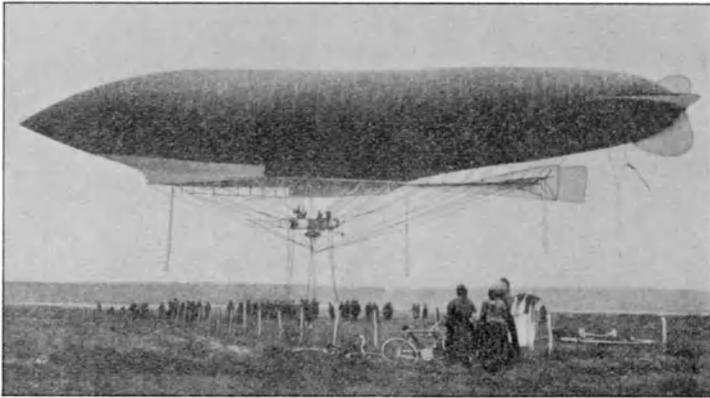


Fig. 5.

„La Patrie“.

Hinter der ersten, aber noch vor dem beweglichen Höhensteuer befand sich eine keilförmige, im Querschnitt kreuzähnliche Vorrichtung aus horizontalen und vertikalen Flächen.

An der hinteren elliptischen Abrundung der Ballonhülle zog sich horizontal eine ca. 22 qm große Stoffbahn in Form eines Taubenschwanzes herum, welche in der Mitte durch eine kleine Vertikalfläche gekreuzt wurde.

Als Höhensteuer wurden zwei trapezförmige, parallel zu ihrer horizontalen Drehachse liegende Flächen verwendet, welche zusammen die Form eines offenen Keiles hatten, dessen Kante die Drehachse bildete.

Das Seitensteuer bestand aus einer drehbaren Vertikalfläche von 12 qm.

Wie allgemein bekannt sein dürfte, haben sich die französischen Luftschiffe vom Typ des *Lebaudy* recht gut bewährt und mehrere wohlgelungene Fahrten gemacht.

Als deutscher Vertreter des halbstarren Systems sei das Militär-Luftschiff erwähnt, das von einer Kommission des Luftschifferbataillons und dem Ingenieur *Basbach* entworfen und gebaut worden ist.

Während in Frankreich an dem Problem des lenkbaren Luftschiffes mit Eifer, aber vorerst geringem Erfolg weitergearbeitet wurde, gelang es endlich auch dem Grafen Ferdinand von Zeppelin, seine längst schon konzipierten Pläne für ein starres Luftschiff zu verwirklichen, nachdem ihm auch dank den Fortschritten der Technologie ein für seine Zwecke geeignetes Metall zur Verfügung stand.

Mit weitschauendem Blick die künftige Entwicklung des Luftschiffes voraussehend, hat er den kühnen Sprung gewagt, von dem früheren Typ des nichtstarren

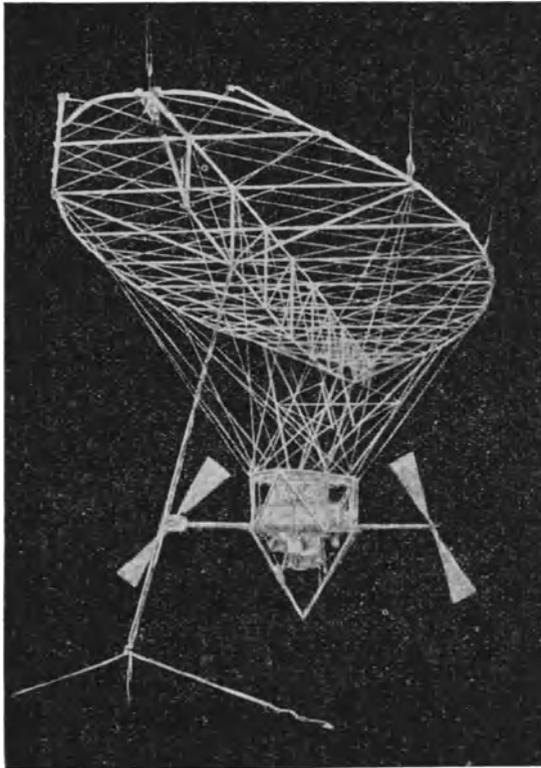


Fig. 6.

Gerippe und Gondel des Ballons von Lebaudy.

Luftfahrzeuges gleich auf das starre Luftschiff überzugehen. Am 2. Juli 1900 erhob sich sein erstes Fahrzeug in die Lüfte.

Es ist natürlich, daß die Konstruktion und Herstellung dieses ganz neuen Typs von Luftschiffen in allen Einzelheiten auf den ersten Wurf nicht vollkommen gelang, sondern vielmehr auch auf diesem neuen technischen Gebiet erst eine Reihe theoretischer und praktischer Erfahrungen und Kenntnisse durch Versuche gesammelt werden mußten, bevor ein in allen Einzelheiten brauchbares Fahrzeug dieser Art geschaffen werden konnte.

Mit Recht durfte aber Graf Zeppelin von der Richtigkeit seines Systems überzeugt sein, und er ließ sich daher auch weder von den teilweisen Mißerfolgen

noch durch sonstige Hindernisse sowie abfällige Urteile von Gelehrten, Fachleuten und Technikern entmutigen. Seiner rastlosen Tätigkeit und der treuen Mitarbeit seines gesamten Personals gelang es denn auch, in verhältnismäßig kurzer Zeit Fahrzeuge von großer Vollendung herzustellen. Der leitende Grundgedanke war von Anfang an der, Luftschiffe so zu bauen, daß sie ihre äußere Gestalt unabhängig von dem wechselnden Volumen der Gasfüllung stets beibehalten. Da alle bisher gebauten Zeppelin-Luftschiffe nach diesem Grundprinzip gebaut sind, so will ich an Hand des Fahrzeuges Modell 07, welches schon durch seine Fahrten vom 24. September bis 8. Oktober 1907 den praktischen Beweis für die Brauchbarkeit des starren Systems geliefert hat, eine allgemeine Darstellung der Konstruktion geben. Das Luftschiff hat die Gestalt eines langgestreckten Zylinders vom Querschnitt eines Sechzehnecks, welcher vorn und hinten mit ogivalen Spitzen versehen ist.

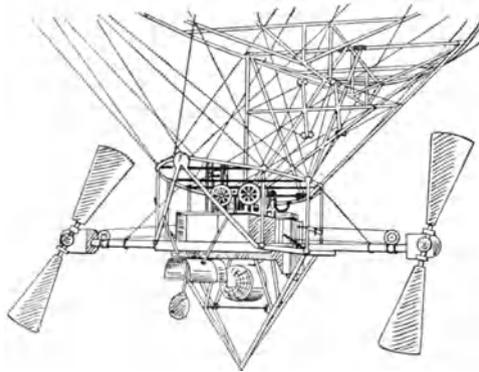


Fig. 7.

Gondel des Ballons von Lebaudy.

Diese Form wird unter allen Umständen erhalten durch ein starres Aluminiumgerippe von Längs- und Querträgern, welches von einer festen, wasserdichten Stoffhülle (Außenhaut) eingeschlossen ist. Jeder Längsträger bildet eine Kante (Mantellinie) des Zylinders und seiner Spitzen, während jeder Querträger, entsprechend dem Zylinderquerschnitt, die Form eines 16 eckigen Reifens besitzt. Die Längs- und Querträger sind in geeigneter Weise verspannt und bilden so einzelne Abteilungen zur Aufnahme je einer Ballonhülle. An die beiden untersten Längsträger ist zur Erhöhung der Festigkeit und Steifheit des Gesamtgerippes in der Längsrichtung eine weitere Trägerkonstruktion angefügt. Die Gesamtlänge des Gerippes und damit des Luftschiffes betrug bei dem Modell 07 128 m, der äußere Durchmesser 11,70 m, das Gasvolumen 11 400 cbm.

Innerhalb der erwähnten unteren Trägerkonstruktion ist ein Luftsteg angebracht, mittels welchem man von einer Gondel in die andere gelangen kann. Auch läuft hier auf Schienen ein verschiebbarer Aluminiumbehälter, sogen. Wagen, in welchem Reserveteile, Werkzeuge, Anker und dergl. untergebracht werden. Dieser Wagen ist an Stelle des früheren herabhängenden Laufgewichtes getreten, hat aber seit der Vervollkommnung des Höhensteuerapparates für die Manövrierung nicht mehr die Bedeutung wie das frühere Laufgewicht.

Die erwähnte untere prismatische Trägerkonstruktion ist in Rücksicht auf die Luftreibung ebenfalls von einer Stoffhülle eingeschlossen und damit auch jede Gefahr bei Benützung des erwähnten Laufsteges zum Übergang von einer Gondel in die andere beseitigt.

Das Luftschiff besitzt zwei Gondeln von 7,296 m Länge, 2,0 m Breite und 1,34 m Höhe. Sie sind ganz aus Aluminium gebaut und jeweils vertikal unter dem Auftriebsmittelpunkt einer jeden Luftschiffhälfte starr mit dem Gerippe verbunden. In der Führergondel befinden sich die Vorrichtungen zur Betätigung der Höhen- und Seitensteuer sowie des Laufwagens, die Ventilzüge der Ballons, die Züge der Wasserballastsäcke, der Maschinentelegraph, ferner Kompaß, Karten, Barograph, Stoskop und sonstige zur Navigation, zu Höhen- und Positions-Bestimmungen erforderliche Apparate.

In den Gondeln ist je ein vierzylindriger Daimlermotor untergebracht von 85 effektiven Pferdestärken. Der Benzinverbrauch pro Motor und Betriebsstunde beträgt 18 kg.

Jeder Motor treibt gleichzeitig 2 Propeller an. Diese sind jeweils rechts und links des Ballongerippes in Höhe des Luftwiderstand-Mittelpunktes des ganzen Luftschiffes angebracht in der Weise, daß die Lager der Propellerwellen (Achsen) mit dem Ballongerippe starr verbunden sind.

Zur Verhinderung von Schwankungen in der Längsachse sind an der hinteren Spitze des Ballongerippes, rechts und links derselben, je 2 radial nach außen stehende Stabilitätsflächen angebracht, zwischen denen die Seitensteuer eingebaut sind. Die aus je 3 Parallelfächen bestehenden 2 Seitensteuer können gemeinsam oder jedes für sich von der Führergondel aus betätigt werden.

Zum Zwecke einer rein dynamischen Veränderung der jeweiligen Höhenlage des Fahrzeuges sowie zur Erhaltung der gewünschten Höhenlage bei vertikal gerichteten Luftströmungen sind vier Höhensteuer vorhanden, von denen je zwei an dem vorderen und hinteren Ballonende angebracht sind, und zwar zu beiden Seiten derjenigen Querträger, an welche sich die Spitzen des zylindrischen Ballongerippes anschließen. Es können alle vier Steuer zugleich oder paarweise für sich gedreht werden. Jedes dieser Steuer besteht aus vier sich stets parallel bleibenden Flächen, welche in ihrer Mittelstellung horizontal liegen.

Ihre Wirkung beruht auf den gleichen Vorgängen, die das Steigen der erwähnten Drachen herbeiführen. Will man z. B. höher steigen, so genügt es, durch entsprechende Schrägstellung der vorderen Höhensteuer einen aufwärts gerichteten Luftdruck zu erzeugen, welcher somit das vordere Ballonende hebt, und da ferner infolge der Anordnung der Propeller der Druck derselben stets in der Widerstandsmittelebene in Richtung der Längsachse des Luftschiffes wirkt, so fährt letzteres in der ihm erteilten Höhenrichtung einfach weiter, gerade so wie ein Schiff in der ihm durch die Steuer gegebenen Seitenrichtung fortläuft.

Führt die Schrägfahrt in Höhen, wo das Luftschiff schwerer würde als die umgebende Luft, so beginnen die Unterflächen des Fahrzeuges wie Drachenflächen zu wirken, welche seiner Neigung, zu sinken, entgegenwirken. Das gleiche gilt analog für eine Abwärtsbewegung. Eine andere Art des Auf- und Abstieges kann durch entsprechend gleiche Neigung der vorderen und hinteren Höhensteuer erzielt werden,

in der Weise, daß am vorderen und hinteren Ballonende ein gleich großer und gleich gerichteter Luftdruck nach oben bzw. unten entsteht. Dann hebt oder senkt sich das Luftschiff ohne Änderung der Lage seiner Längsachse. Die tatsächliche Flugbahn ergibt sich dann als Resultante aus dem Druck der Propeller und dem Luftdruck auf die Höhensteuer.

Damit ist das Wesentlichste über die Konstruktion des starren Motor-Luftschiffes gesagt.

Das im Frühjahr 1908 fertiggestellte Modell Z. II weist in den konstruktiven Grundzügen keine wesentlichen Änderungen gegenüber dem eben besprochenen Modell Z. I 1907 auf. Die bei dem Modell Z. II ausgeführten Neuerungen waren eine Folge der von uns gemachten praktischen Erfahrungen, der neu hinzugekommenen

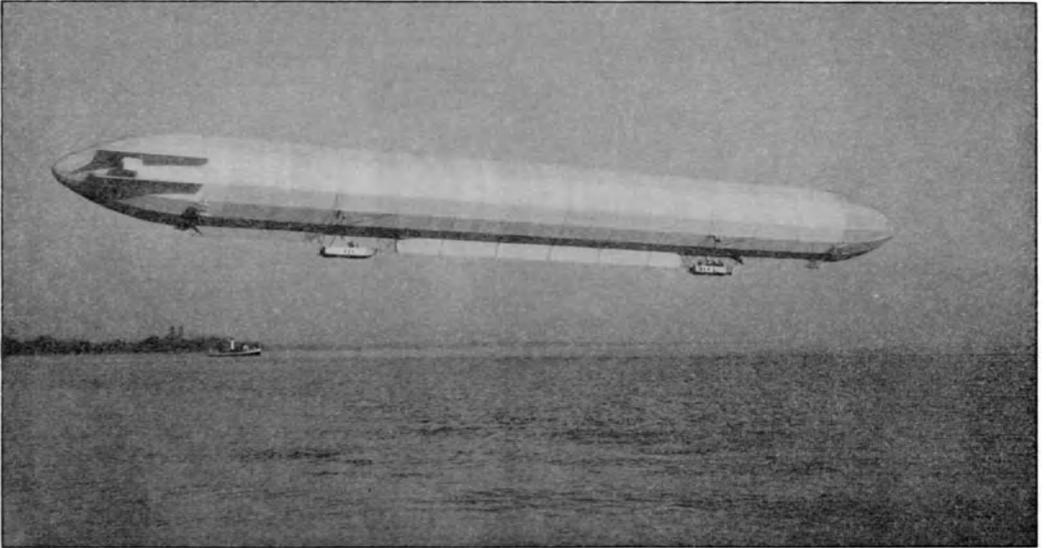


Fig. 8.

Bedürfnisse und der erhöhten Anforderungen an die Tragkraft, Leistungsfähigkeit und Betriebssicherheit, die wir anstreben.

Demgemäß wurden dem Luftschiff statt 16 Abteilungen 17 gegeben und damit eine Gesamtlänge von 136 m erreicht, während der Durchmesser auf 13,0 m gebracht wurde. Das Gasvolumen erhöhte sich auf 15 000 cbm. Auch die Gondeln wurden wesentlich vergrößert und in jede derselben ein Motor von 110-PS eingebaut, so daß also eine Maschinenkraft von insgesamt 220-PS zur Verfügung stand. Als Reservesteuerung für die Navigation in der Horizontalen, also für Kursfahren, wurde noch eine zweite Seitensteuerung in Form eines großen Heckruders analog wie bei den Seeschiffen an der hinteren Luftschiffspitze angebracht. Das Fahrzeug erhielt ferner zwei weitere Stabilitätsflächen, welche oben und unten an der hinteren Fahrzeugspitze vertikal gerichtet befestigt waren.

Das Luftschiff endlich, welches im Herbst des Jahres 1908 die bekannten Fahrten ausführte, ist nur eine teilweise Rekonstruktion des bereits besprochenen

Modells Z. I 1907, welches seinerzeit bei der durch einen orkanartigen Sturm verursachten Katastrophe der schwimmenden Reichshalle beschädigt wurde. Bei der Wiederherstellung des Fahrzeuges wurde diesem eine weitere Abteilung hinzugefügt, so daß nun auch dieses Modell 17 Abteilungen und eine Länge von 136 m besitzt. Der Durchmesser ist dagegen gleich geblieben, das Volumen auf 12 200 cbm gestiegen.

Es sei mir gestattet, noch einige Ergebnisse der erfolgreichen Fahrten dieser Luftschiffe einer Erörterung zu unterziehen.

Außer der schon mit dem Modell 1906 dieses Typs von Luftschiffen erwiesenen außerordentlichen Stabilität, der absolut ruhigen, sicheren Fahrt, der ausgezeichneten

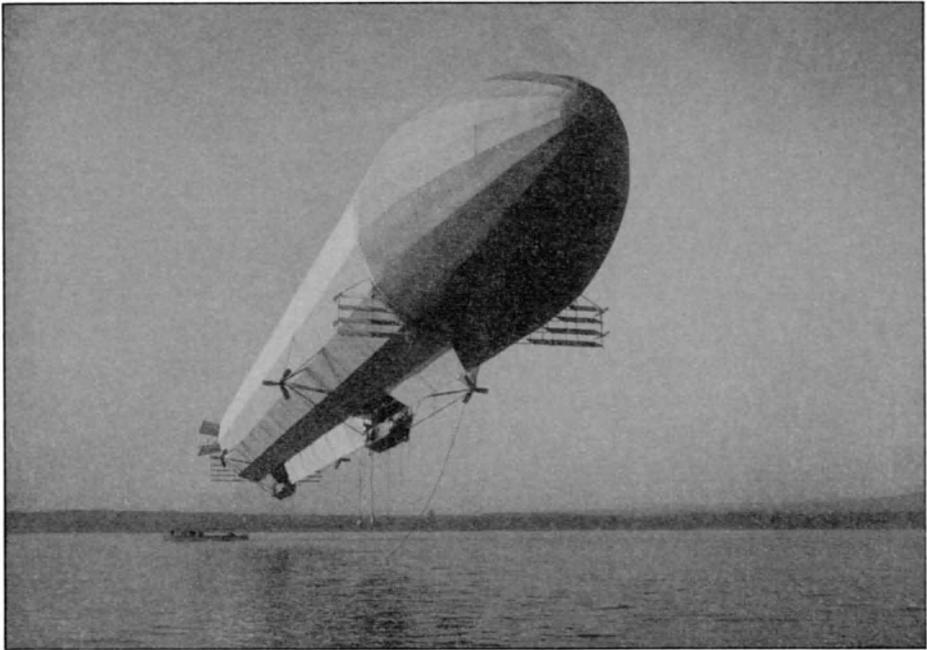


Fig. 9.

Steuerfähigkeit in seitlicher Richtung ist bei den letzten drei Fahrzeugen die neue Höhensteuervorrichtung besonders zu erwähnen, die sich bei allen Fahrten so ausgezeichnet bewährt hat.

Die Barographendiagramme, welche die Vertikalprojektionen der jeweiligen Flugbahnen darstellen, liefern einen schlagenden Beweis dafür, wie sicher man das Zeppelin'sche Luftschiff mittels seines Höhensteuerapparates auch in seinen Vertikalbewegungen in der Hand hat.

Das Luftschiff fährt auch bei vertikal gerichteten Luftströmungen so ruhig und folgt jedem Druck seiner Steuer so willig, daß man das Gefühl der unbedingten Sicherheit hat.

Den einwandfreiesten Beweis für die außerordentlich wirksamen Steuervorrichtungen der Zeppelin'schen Luftschiffe hat die herrliche Fahrt über einen

Teil der Schweiz erbracht. Es war wunderbar, mit welcher Sicherheit sich das große Fahrzeug mittels seiner Steuerorgane teilweise bei beträchtlichem Gegenwind durch scharfe, enge Talwindungen arbeitete und dann wieder durch dynamische Wirkung der Höhensteuer beträchtliche Höhen und Pässe überflog.

Die Zeit liegt noch gar nicht weit zurück, in der die Ausführbarkeit von Landungen auf festem Boden mit großen starren Luftschiffen immer bezweifelt, ja oft direkt bestritten wurde. Allein die Landungen bei Echterdingen in Württemberg und Dingolfingen unweit Landshut, die beide ohne jede Vorbereitungen und bei teilweise schwerem Wind vollkommen sanft und ohne die geringste Havarie verliefen, wie auch die wiederholten Landungen in der Nähe des Bodensees haben so zwingend den Beweis von der gegenteiligen Tatsache erbracht und damit das einstige Vorurteil vernichtet, daß es ganz überflüssig erscheint, hierauf noch näher einzugehen.

Weiterhin entspricht die seinerzeit nach der Mainzer Fernfahrt da und dort aufgestellte Behauptung, daß wir infolge von Gasmangel bzw. zu großen Gasverlusten zu der Landung bei Echterdingen gezwungen waren, nicht den Tatsachen. Die Prallhöhe in der Nacht vom 4. und 5. August betrug unter den gegebenen Verhältnissen mehr als 1800 m. Wir sind ferner in dieser Nacht teils dynamisch mittels der Höhensteuer, teils durch Auftrieb auf eine Höhe von 1820 m gestiegen. Wer nun mit den hier in Betracht kommenden physikalischen Gesetzen vertraut ist, für den ist es auch ganz klar, daß wir unter den vorliegenden Umständen wegen Gasmangel weder zu einer Landung gezwungen waren noch für eine darauf folgende Weiterfahrt zu wenig Gas in den Ballons hatten. Die Landung erschien uns in Anbetracht des starken Gegenwindes nur rätlich wegen der erheblichen Beschädigung des vorderen Motors, für deren Beseitigung das erforderliche Material teilweise nicht an Bord war und auch nicht immer mitführbar ist.

Hier haben wir wieder die Tatsache vor Augen, daß die Maschinenkraft zu sehr reduziert ist, sobald einer der beiden Motore wegen Defekt längere Zeit ausscheiden muß und gleichzeitig starker Gegenwind vorhanden ist. Ist aber beispielsweise überhaupt nur ein Motor vorhanden, so wird das Luftschiff unter dem gleichen Vorkommnis einfach zu einem Freiballon von den denkbar ungünstigsten Bedingungen.

Will man also die Luftschiffahrt in großem Stil betreiben, so müssen die Fahrzeuge eine dritte Maschine mit zugehörigem Getriebe und Propeller als Reserve für eine der beiden durch irgendeinen Maschinendefekt zeitweise unbrauchbar gewordenen Betriebsmaschinen erhalten, oder es muß die Leistung jeder der beiden vorhandenen Maschinen wesentlich erhöht werden. Beide Möglichkeiten sind bei dem starren Luftschiff ohne Schwierigkeiten zu verwirklichen, doch gewährleistet der Einbau von drei getrennten Motoren mit zugehörigen Triebwerken eine noch höhere Betriebsicherheit, eine Betriebssicherheit, wie sie unter Berücksichtigung der sonstigen Vorteile des starren Luftschiffes mit einzelnen Gashüllen schwerlich noch übertroffen und jedenfalls von Fahrzeugen nichtstarren Systems nicht annähernd erreicht werden kann.

Auch die Geschwindigkeit wird sich durch Anwendung von drei Motoren und anderen Mitteln noch erhöhen lassen. Allein die Durchführung von Änderungen und Verbesserungen erfordert eben ihre Zeit, sie läßt sich sozusagen nicht übers

Knie brechen, weil jede Verbesserung oft erst auf Grund einer anderen ausführbar ist oder die vorherige Abänderung anderer Einrichtungen oder Konstruktions-elemente erfordert.

Bezüglich unserer letzten Fernfahrt über Leipzig-Bitterfeld darf ich wohl auf unseren vom Reichsamt des Innern veröffentlichten Bericht verweisen. Daß es, wenn auch bei günstiger Wetterlage, möglich war, das Luftschiff trotz der schweren Havarie nach Verlust von fast vier Abteilungen, ohne Spitze, vorderes Höhensteuerpaar, ohne vorderen Motor und ohne Laufgewicht in seinem eigentlichen Element, der Luft, vollends nach Manzell zu fahren, ist fahrttechnisch eigentlich ein größerer Erfolg als die 38½ stündige Dauerfahrt. Denn der Fahrdauer unter sonst normalen Verhältnissen ohne Zwischenlandung ist, falls Ablösungspersonal für die Besatzung nicht an Bord ist, durch die Überanstrengung der letzteren viel früher ein Ziel gesetzt als durch die Leistungsfähigkeit des Luftschiffes selbst. In der Tat war letztere durch die 38½ stündige Fahrt noch nicht erschöpft.

Für die Leistungsfähigkeit des starren Luftschiffes in bezug auf die Tragfähigkeit bei verschiedenen Jahreszeiten bzw. verschiedenen Lufttemperaturen, die ja von großem Einfluß sind, mögen folgende Daten ein Bild geben.

Es ergibt sich für die Schweizerfahrt von Z. II, 1. Juli 1908, folgende Zusammenstellung:

Luftschiffgewicht einschließlich Navigationsausrüstung	11620 kg
Belastung, bestehend aus Betriebsmaterial für 14 Motor-	
Doppelstunden	870 „
12 Personen	1020 „
Wasserballast	1270 „
Also Gesamtgewicht.	<u>14780 kg</u>

Der Barometerstand betrug bei der Abfahrt um 8 Uhr 26 Minuten morgens $b = 733$ mm, die Lufttemperatur $19,8^{\circ}$ C, demnach der errechnete Auftrieb $A = 15690$ kg, also Überschuß $S = 910$ kg. Die maximale Lufttemperatur von $t = 25^{\circ}$ C hatten wir um 2 Uhr 40 Min. in 670 m Höhe absolut (bei Zürich).

Fahrt des rekonstruierten Z. I am 7. November 1908:

Luftschiffgewicht einschließlich Navigationsausrüstung	10910 kg
Belastung, bestehend aus Benzin für 13,7 Motor-Doppel-	
stunden	492 „
Öl für 16,7 Motor-Doppelstunden	100 „
Ersatzkühlwasser	105 „
9 Personen zu 80 kg	720 „
Wasserballast	1310 „
Also Gesamtgewicht.	<u>13637 kg</u>
Errechneter Auftrieb bei $b = 728$ mm B.-St. und 1° C	
Temperatur: $A =$	13550 kg
Also Überschuß an Auftrieb	<u>S = 87 kg</u>

Die größte Höhe der Flugbahn betrug 1040 m absol., die niedrigste Temperatur $t = -6^{\circ}$ C.

Ich möchte endlich noch kurz auf irriige Anschauungen über das Verhalten von Luftfahrzeugen mit Eigenbewegung bei Fahrten in bewegter Luft bzw. Sturm eingehen. Man hat noch vor einigen Jahren vielfach der Anschauung begegnen können, daß die Vorgänge bei einem Luftschiff, welches eine Fahrt in bewegter Luft ausführt, ganz ähnliche oder die gleichen sind wie etwa bei einem gegen den Wind aufkreuzenden Segelschiff, daß also auch ein seitlicher Luftdruck auf das Luftschiff bei Vorhandensein von Wind auftritt. Das ist durchaus nicht der Fall. Es existiert ein solcher Seitendruck überhaupt nicht, und man wird daher selbst in dem heftigsten Sturm nicht den leisesten seitlichen Luftzug verspüren, wenn ersterer in irgendeinem Winkel quer zur Fahrtrichtung des Luftschiffes weht, weil dann das Fahrzeug zugleich mit der umgebenden Luft mit fortgeführt wird. Wir haben hier also genau den gleichen Fall, wie wenn wir beispielsweise mit einem Boot über einen Fluß rudern. Das Boot wird dann von der Flußströmung mitgenommen in der gleichen Richtung und mit der gleichen Geschwindigkeit dieser Wasserbewegung. Es kann also durch diese Bewegung des Bootes kein Wasserdruck auf eine Seitenwand des ersteren auftreten, was auch durch die Tatsache erwiesen ist, daß eine Stauung des Wassers an der der Stromrichtung zugekehrten Schiffswand nicht auftritt, wie solche beispielsweise an Brückenpfeilern zu beachten ist. Außer der erwähnten Bewegung in Richtung der Wasserbewegung erhält nun das Boot durch die Betätigung der Ruder eine zweite, sogenannte Eigenbewegung, und diese erzeugt naturgemäß allein einen Wasserwiderstand in dieser Fahrtrichtung auf die Spitze des Bootes. Setzen wir nun an Stelle des Bootes ein Luftschiff mit Eigenbewegung und statt des Wasserstromes den Wind, so haben wir analog den gleichen Fall wie den eben besprochenen. Wir erhalten daher für das Luftfahrzeug nur zwei Drucke, nämlich denjenigen, welcher durch Verdrängung einer Luftmenge seitens des Fahrzeuges von allen Seiten gleichmäßig auf das Luftschiff einwirkt und sich daher aufhebt bzw. durch den Gegendruck der Gasfüllung des Ballons ausgeglichen wird, und denjenigen Luftdruck, welcher in der Fahrtrichtung des Luftschiffes infolge seiner Eigenbewegung auf die Spitze des Fahrzeuges wirkt. Dieser letztere kann selbst bei einem der Fahrt entgegengesetzten Sturm naturgemäß nie größer werden als derjenige Luftdruck, welcher an sich bei der maximalen Eigengeschwindigkeit des Luftschiffes entsteht. Denn wenn das Fahrzeug direkt gegen den Wind fährt, dessen Geschwindigkeit größer ist als seine eigene maximale Fahrtgeschwindigkeit, so wird ersteres entsprechend zurückgetrieben. Ist dagegen beispielsweise die Fahrtgeschwindigkeit des Luftschiffes gleich der entgegengesetzten Windgeschwindigkeit, so bleibt das Fahrzeug genau auf dem gleichen Punkt in bezug auf die Erde stehen. Den letzteren Eventualitäten kann man aber meist dadurch entgehen, daß man sich in höhere oder tiefere Luftschichten begibt, in denen ein schwächerer oder gar kein Wind weht. Man wird sogar öfters in anderen Höhen Windrichtungen finden, welche mehr oder weniger in der beabsichtigten Fahrtrichtung wehen und daher nur förderlich sind.

Machen wir uns nun einmal klar, unter welchen Umständen und Grundbedingungen ganz allgemein ein Luftschiff die längste Fahrtdauer und damit auch den größten Aktionsradius erlangen wird, so kommen wir zu folgenden an ein wirklich leistungsfähiges Luftschiff zu stellenden Hauptforderungen:

1. Erhaltung der äußeren Form des Ballonkörpers unter allen Umständen, sowohl während der Fahrt wie auch beim Landen.

2. Unbedingte Betriebsfähigkeit in bezug auf die Eigenbewegung des Fahrzeuges innerhalb der durch das mitgeführte Quantum an Betriebsmaterial gegebenen Grenzen sowie hinsichtlich der Steuerfähigkeit und Stabilität des Luftschiffes.

3. Möglichst gute Erhaltung des Gaszustandes der Füllung und tunlichste Vermeidung von Gasverlusten durch Diffusion und Wärmestrahlung, soweit konstruktive Vorkehrungen dies eben ermöglichen.

4. Möglichst große Tragfähigkeit des Fahrzeuges.

Vergleicht man nun die drei Luftschiffotypen, d. h. das nichtstarre, halbstarre und starre System und ihre charakteristischen konstruktiven Anordnungen, so ergeben sich auf Grund der eben erwähnten Gesichtspunkte folgende Resultate:

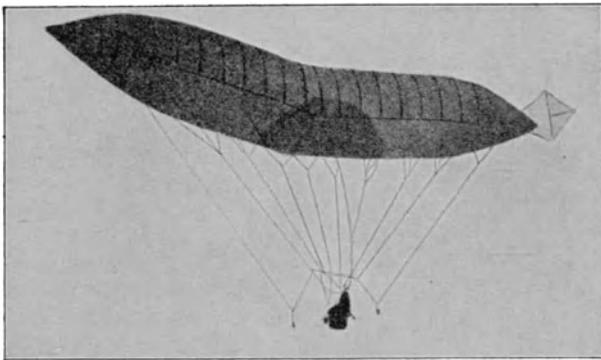


Fig. 10.

Luftschiff von Santos Dumont.

Wie schon erwähnt, muß bei allen Ballonettfahrzeugen, seien sie nichtstarr oder halbstarr, die äußere Form der Ballonhülle, durch inneren Überdruck erhalten werden. Letzterer muß wiederum künstlich mittels irgendeiner maschinellen Vorrichtung, beispielsweise durch den Ventilator, erzeugt werden. Wenn nun aus irgendeinem Grunde der Ventilator, dessen Antriebsmaschine oder sonst ein Teil der betreffenden Vorrichtung versagt oder gar für einige Zeit gebrauchsunfähig wird, so ist die Form der Hülle nicht mehr zu erhalten, und man ist dann mit diesen Fahrzeugen zu einer Landung genötigt, gleichviel ob eine solche in Rücksicht auf die sonstigen Umstände ratsam ist oder nicht. Was aber eine erzwungene Landung zur Folge haben muß, wenn sich beispielsweise ein solches Luftschiff über einer größeren Wasserfläche oder felsigem Gebirge befindet, oder bei Sturm, Nacht oder Nebel u. dergl. eine Landung notwendig wird, das ist unschwer auszudenken. Bei dem nichtstarreren System ist ein Versagen der Vorrichtung zur Erhaltung der Hüllenform noch viel bedenklicher. Ich erinnere hier an den Absturz des Luftschiffes von Santos Dumont am 11. Mai 1899. Dieser erfolgte, weil der Ventilator der durch starke Abkühlung hervorgerufenen Volumenverminderung des Gases nicht genügend entgegenwirken konnte, ein Umstand, der auch im Laufe der letzten Jahre Ballonett-Luftschiffe steuerlos gemacht hat.

Bei dem starren Luftschiff dagegen sind solche Möglichkeiten von vornherein ausgeschlossen, weil die Form des Tragkörpers, der die Einzelballons enthält, durch das starre Gerippe und die Außenhülle unter allen Umständen, also unabhängig von der jeweiligen Füllung der Ballons bzw. der Betriebsfähigkeit einer maschinellen Vorrichtung, erhalten wird.

Es ist ferner nicht schwer, sich zu vergegenwärtigen, welche Folgen eine aus irgendwelchen Ursachen entstehende Beschädigung der Gashülle oder der Ballonnetts der nicht starren und halbstarren Luftfahrzeuge bei ihrer Fahrt haben wird.

Auch in diesem Falle ist das Luftschiff des Grafen v o n Z e p p e l i n den anderen Fahrzeugen überlegen, weil es nicht eine einzige Gashülle und gar kein Ballonnett, sondern eine Anzahl Einzelballons besitzt, die zudem durch die äußere Stoffhülle und das starre Gerippe in weitgehendstem Maße gegen Beschädigungen geschützt sind. Tritt aber trotzdem aus einem ganz außergewöhnlichen Umstände die Beschädigung der Gashülle eines Einzelballons des Z e p p e l i n schen Luftschiffes ein, so daß alles Gas aus ersterem entweicht, so ist auch dann für dieses Luftschiff noch keine kritische Situation geschaffen, weil ja nur ein kleiner Teil der ganzen Gasfüllung ausströmen kann.

Die notwendige Forderung, dem Luftschiff durch Maschinenkraft stets eine Eigenbewegung erteilen zu können, vermöge welcher zugleich auch die Steuerbarkeit gesichert ist und das Fahrzeug in der Gewalt seines Führers verbleibt, kann nur durch Verwendung von mindestens zwei getrennten leistungsfähigen Maschinen mit ihren zugehörigen Propellern erfüllt werden. Es ist dies besonders bei langen Fahrten unbedingt erforderlich, weil die Betriebsfähigkeit selbst der besten Kleinmotoren immer eine verhältnismäßig geringe ist.

Wie ich schon hervorgehoben habe, können in das Z e p p e l i n sche Luftschiff nicht nur zwei, sondern auch drei getrennte, gleichstarke Maschinen eingebaut werden, wobei man dann auch im Fall einer Betriebsstörung einer der Maschinen selbst in schwierigen Verhältnissen noch Herr der Situation bleibt. Fährt man aber abwechselnd nur mit einem Motor, so steht mindestens noch ein Motor als betriebsfähige Reservemaschine zur Verfügung.

Betrachten wir endlich noch die Vorgänge in der Atmosphäre, welche die Gasverluste der Luftfahrzeuge herbeiführen, so erscheint es zur Erlangung eines möglichst großen Überblickes nützlich, zunächst von einfachen und bekannten Umständen auszugehen.

Die günstigsten Bedingungen, um lange Fahrten mit Freiballons zu erreichen, sind: Eine ausreichende Stabilität der Luft, eine möglichst gleichförmige Wirkung der Strahlungsverhältnisse und ein Fehlen von ungünstiger Belastung durch Niederschläge. Unter solchen Umständen wird ein Freiballon nur noch in seiner Fahrtdauer beeinträchtigt werden durch Gasverluste, welche durch Undichtigkeit der Hülle und Diffusion des Gases bedingt sind.

Den Einfluß jedes einzelnen dieser Umstände ersieht man am besten, wenn man das Verhalten des Ballons näher ins Auge faßt, unter der Voraussetzung, daß die anderen ihren Charakter beibehalten.

Ist die Luft nicht stabil, sondern finden sich mehr oder weniger starke vertikale Bewegungen vor, so wird in absteigenden Luftmassen der Ballon bis zum Boden

mitgeführt werden und zur Vermeidung einer unfreiwilligen Landung eine entsprechende Ballastausgabe unvermeidlich sein. Umgekehrt wird durch aufsteigende Luftmassen eine Kraft erzeugt, welche den Ballon entsprechend hoch über diejenige Gleichgewichtslage hinausführt, welche er einnehmen würde, wenn das Gas den Innenraum des Ballons gerade ausfüllte. Solche Vertikalbewegungen bleiben der Natur der Sache nach nicht aus, wenn die physikalischen Bedingungen in der Atmosphäre derartige sind, daß bei irgendeiner wachgerufenen Deplacierung von Luftmassen Kräfte auftreten, welche einer solchen entgegenwirken.

Wird eine Luftmasse in der Atmosphäre z. B. nach oben geführt, so gelangt sie in Schichten von geringerem Druck. Durch die hierbei eintretende Expansion ist eine Temperatur-Abnahme bedingt, welche für trockene Luft pro 100 m Erhebung rund 1° beträgt. Das Umgekehrte ist der Fall, wenn Luftmassen von oben herunter geführt werden und durch Eindringen in tiefere Schichten komprimiert und damit erwärmt werden.

Haben wir nun eine Temperaturlagerung in der Atmosphäre, die eine Abnahme von 1° pro 100 m aufweist, so kann eine nach oben oder unten geführte Luftmasse in jeder Höhe, die sie erreicht, die gleiche Temperatur vorfinden, welche sie durch Expansion oder Kompression selbst erreicht. In diesem Falle können keinerlei physikalische Kräfte auftreten, welche dauernd der Bewegung der Luftmassen entgegenwirken. Diesen Zustand der Luft bezeichnen wir mit: Indifferentem Gleichgewicht.

Bei diesem Gleichgewicht der Luft genügen nun verhältnismäßig geringe Erwärmungen von Luftmassen in der Höhe des Bodens, um dieselben durch den ganzen im indifferenten Gleichgewicht befindlichen Raum nach oben zu führen.

Diesen Vorgängen in der Atmosphäre kann nun ein Luftfahrzeug mit Eigenbewegung und Höhensteuerung mehr oder weniger wirksam entgegentreten oder dieselben ganz unschädlich machen, je nach der Größe der Eigengeschwindigkeit und der Vollkommenheit des Höhensteuerapparates des betr. Luftschiffes. Es wird also dasjenige Luftschiff im Vorteil vor anderen sein, welches bei relativ kleinstem Stirnwiderstand die größte Maschinenkraft mitführen kann.

Ein weiterer erheblich ins Gewicht fallender Faktor ist die Schwankung der Temperatur im Innern des Ballonkörpers.

Wenn man bedenkt, daß bei jeder Abkühlung um 1° das Ballonvolumen um $\frac{1}{273}$, also um rund 4 ‰ abnimmt und in dem gleichen Betrage auch die Menge der verdrängten Luft, so erhält man beispielsweise für einen Ballon von 1000 cbm Inhalt und einer Temperaturabnahme im Innern von 10° einen Auftriebsverlust und damit eine Verminderung der Tragfähigkeit von ca. 36 kg.

Unterschiede dieser Art treten nun leicht ein bei abwechselnder Bestrahlung der Gashülle durch die Sonne und Nachlassen derselben durch vorgelagerte Wolken.

Auch diese Kräfte können aber je nach Größe der vorhandenen Horizontalgeschwindigkeit des Fahrzeuges und der Wirkung seiner Höhensteuer vermindert oder aufgehoben werden, da mit diesen Hilfsmitteln, wie schon erwähnt, eine erhebliche entgegengesetzte Drachenwirkung erzeugt werden kann. Das Fahrzeug bleibt in der gleichen Höhe, wenn die Vertikalkomponenten dieser Kräfte den Differenzen des Auftriebes gleich sind.

Nun können sich die Wirkungen von Temperatureinflüssen und solche von bewegten Luftmassen gleichzeitig kompensieren, aber auch summieren, und in diesem Falle treten dann Situationen ein, die bei einem nennenswerten Betrage jedes einzelnen dieser Faktoren höchst nachteilig wirken müssen.

Aus diesen Ausführungen ergibt sich die große Bedeutung, welche Einrichtungen haben, um die Temperaturunterschiede zwischen dem Inneren der Ballonhülle und der umgebenden Atmosphäre möglichst klein zu erhalten. Eine solche Einrichtung hat und kann nur das starre Luftschiff des Grafen von Zeppelin haben. Während bei den anderen Fahrzeugen das Gas nur durch die (eine) Ballonhülle von der umgebenden Atmosphäre getrennt und daher den Strahlungswirkungen viel mehr ausgesetzt ist, hat das Zeppelinsche Luftschiff außerdem noch eine Außenhülle, wodurch zwischen dieser und den Ballonhüllen ein isolierender Luftraum geschaffen ist, welcher den Strahlungseinfluß wesentlich einschränkt.

Endlich sind auch die Gasverluste durch Diffusion bei dem starren Luftschiff geringer, weil in den Ballons desselben kein Überdruck vorhanden sein muß.

Die Belastung durch Niederschläge ist bei allen drei Luftschiffotypen gleich geringer als wie bei einem Freiballon.

Fassen wir nun die Resultate unserer bisherigen Betrachtungen zusammen, so sehen wir, daß die Fahrdauer der Ballonett-Luftfahrzeuge von einer Reihe von Zufälligkeiten und Einflüssen abhängt, welche bei dem starren Luftschiff in bezug auf die Betriebssicherheit überhaupt nicht vorhanden bzw. fast ganz ausgeschlossen erscheinen, während hinsichtlich der Einflüsse physikalischer Vorgänge in der Atmosphäre auf die Gasfüllung der Fahrzeuge die Wirkung bei dem Zeppelinschen Luftschiff eine wesentlich geringere ist.

Somit hängt die Fahrdauer des starren Luftschiffes in der Hauptsache von der mitführbaren Menge von Betriebsmaterial für die Motoren und der Stärke der Besatzung ab, welche eine Ablösung der jeweiligen Bedienungsmannschaft ermöglichen muß. Das heißt mit anderen Worten, die Fahrdauer dieser Luftschiffklasse ist abhängig von dem frei verfügbaren Auftrieb nach Abzug des gesamten Konstruktionsgewichtes und letzterer wiederum von der Größe des Luftschiffes.

Daraus ergibt sich weiter, daß die Größe eines starren Luftschiffes nur ein Vorteil, aber kein Nachteil ist. Bei jeder Vergrößerung wächst naturgemäß der Gesamtauftrieb immer in höherem Maße als der durch die Vergrößerung entstehende Zuwachs an Konstruktionsgewicht. Somit wird bei jeder Vergrößerung der Dimensionen des Ballonkörpers das Verhältnis von Gesamtauftrieb zu Konstruktionsgewicht immer günstiger, was jedesmal einen Zuwachs der frei verfügbaren Tragfähigkeit bedeutet.

Als besonderer Vorzug namentlich des nichtstarren Typs ist hervorgehoben worden die leichte, schnelle Zerlegbarkeit solcher Fahrzeuge und die Möglichkeit, diese per Achse fortzuschaffen. Das ist unter gewissen Vorbedingungen unzweifelhaft ein Vorzug. Doch daraus ergibt sich weiter die Frage, in welchem Umfang dieser Vorteil auch ausgenutzt werden kann. Im Frieden und eigenen Land wird das meistens möglich sein, im Seekrieg nicht. Zur einmaligen Füllung eines Parseval-Ballons benötigt man über 1000 mit Gas gefüllte Stahlflaschen, zu deren Transport 6 Eisenbahnwaggons, also eine

ganze Trainkolonne von schweren Wagen erforderlich ist. Will man nun den erwähnten Vorteil auch im Landkrieg ausnutzen, so hat das nicht nur eine weitere Vermehrung der bereits ohnehin schon enorm angewachsenen Trainkolonnen zur Folge, sondern es entsteht dann sofort auch die Schwierigkeit, entweder das verladene Luftschiff oder dessen Trainkolonne an den anderen Trainkolonnen vorbei in oder gegen deren Marschrichtung nach vorn bzw. hinten zu schaffen. Wir stehen also hier vor der Frage: Ist die Transportfähigkeit eines Luftschiffes per Achse in Anbetracht der Nachteile, welche aus dieser Eigenschaft in anderer Hinsicht unbedingt erwachsen, überhaupt noch ein Vorteil? — Wird aber ein Ballonett-Luftschiff gelegentlich einer Aufklärungsfahrt vor der Front der eigenen Truppen zu einer Landung gezwungen, so wird es der feindlichen Bevölkerung wohl nicht einfallen, uns hilfreiche Handlangerdienste zu leisten und das Fahrzeug hübsch verpackt zu unseren Truppen per Achse zurückzubringen.

Wir haben auch bis jetzt geglaubt, die Luftschiffe müßten so gebaut sein, daß sie in ihrem Element ihr Ziel erreichen und wieder zurückkehren können und nicht per Achse.

Die Aufgaben im Frieden und im Kriege, welche jedes dieser drei Luftfahrzeuge für sich zu übernehmen und auszuführen vermag, ergeben sich einfach aus der Größe des Aktionsradius, also aus dem Maße der Betriebssicherheit und der Größe der Fahrtdauer jedes dieser Fahrzeuge.

Es ist daher nicht schwer, sich die Verwendbarkeit der verschiedenen Luftschiffotypen klar zu machen. Wie wir gesehen haben, besitzt das starre Luftschiff schon jetzt unbestritten den größten Aktionsradius (Tätigkeitsbereich) und ist daher unter allen Luftfahrzeugen dasjenige, welches für die Lösung der umfangreichen kulturellen Aufgaben im Frieden, beispielsweise hinsichtlich des Weltverkehrs, für große wissenschaftliche Expeditionen, in erster Linie in Betracht kommen wird.

Dank der ernsten, unermüdlichen Arbeit unserer Luftschiffer ist es gelungen, auch in bezug auf die nichtstarrten und halbstarren Fahrzeuge die einst führende Nation in der Luftschiffahrt nicht nur einzuholen, sondern den französischen Rekord auch durch die Fahrten des P a r s e v a l schen Ballons und des deutschen Militärluftschiffes zu schlagen.

Es ist fraglos, daß auch diese Fahrzeuge innerhalb ihres begrenzten Tätigkeitsbereiches sehr verwendbar sind und sehr Nützliches zu leisten vermögen.

Es werden auch die nichtstarrten und halbstarren Luftschiffe eine Reihe von Aufgaben zu lösen haben, für deren Ausführungen das starre Luftschiff weniger in Betracht kommen wird, genau so wie das bei der Seeschiffahrt auch der Fall ist. Der eine Luftschiffotyp schließt die anderen eben nicht aus, und es ist im höchsten Maße bedauerlich und schädigt die Gesamtinteressen der Luftschiffahrt, wenn die verschiedenen Luftschiffsysteme von einem einseitigen Standpunkt aus beurteilt und gegeneinander ausgespielt werden.

Es liegt vielmehr im Interesse der gesamten Kultur, daß alle brauchbaren Luftschiffotypen zu einer möglichst hohen Vollkommenheit ausgebildet werden. Hier haben wir ein neues großes Feld für die wissenschaftliche und praktische Betätigung des Menschen, und jeder, der da mithilft, wird beitragen zu weiteren Triumpfen des menschlichen Geistes über ein Element, das sich am längsten der Beherrschung zu entziehen vermocht hat.
