

SCHIFFBAUTECHNISCHE GESELLSCHAFT.

XV. ORDENTLICHE HAUPTVERSAMMLUNG.

BERLIN, DEN 20. BIS 22. NOVEMBER 1913.

Beziehungen zwischen Luftschiffbau
und Schiffbau.

Von

Marinebaumeister Felix Pietzker [†]

Berlin.

Nachdruck ohne Genehmigung des Vorstandes der Schiffbautechnischen Gesellschaft
nicht gestattet.

SCHIFFBAUTECHNISCHE GESELLSCHAFT.

XV. ORDENTLICHE HAUPTVERSAMMLUNG.

BERLIN, DEN 20. BIS 22. NOVEMBER 1913.

Beziehungen zwischen Luftschiffbau
und Schiffbau.

Von

*Marinebaumeister **Felix Pietzker** [†]*

Berlin.

*Nachdruck ohne Genehmigung des Vorstandes der Schiffbautechnischen Gesellschaft
nicht gestattet.*

*Als Manuskript gedruckt. — Nachdruck ohne Genehmigung des Vorstandes der
Schiffbautechnischen Gesellschaft nicht gestattet.*

ISBN 978-3-662-24443-2 ISBN 978-3-662-26586-4 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-26586-4

Springer-Verlag Berlin Heidelberg
Ursprünglich erschienen bei Verlagsbuchhandlung von Julius Springer in Berlin 1913.

Beziehungen zwischen Luftschiffbau und Schiffbau.

Von Marinebaumeister *Felix Pietsker* [†] - Berlin.

Daß die beiden Gebiete Luftschiffbau und Schiffbau vielerlei miteinander zu tun haben, ist schon im Namen ausgedrückt und auch öfters in der Fachliteratur betont. Ich möchte nur auf einen Aufsatz von Geheimrat Flamm hinweisen, der schon vor einigen Jahren diese Tatsache kurz darlegte, und weiter darauf, daß in dieser Gesellschaft in der Diskussion einmal angeregt wurde, ob es sich nicht empfehle, das ganze Gebiet des Luftschiffbaues mit in das Arbeitsgebiet der Schiffbautechnischen Gesellschaft zu übernehmen. Diese Anregung ist nicht verwirklicht. Es ist eine besondere Schwestergesellschaft der Schiffbautechnischen Gesellschaft entstanden, die wissenschaftliche Gesellschaft für Flugtechnik, und das ist auch sicher im allgemeinen als eine richtige Lösung zu bezeichnen. Die Gebiete weisen doch mancherlei Verschiedenheiten auf, besonders da der Luftschiffbau eng verbunden ist mit dem Flugzeugbau, und bei der raschen Entwicklung, in der sich diese beiden Gebiete befinden, würde es der Schiffbautechnischen Gesellschaft wohl nicht möglich gewesen sein, ihnen in ihren Versammlungen und in ihren Jahrbüchern den Raum einzuräumen, dessen sie bedürfen. Aber eine ganze Reihe von Berührungspunkten bleibt bestehen, besonders wissenschaftlicher Art, und ich möchte es daher in dem heutigen Vortrag unternehmen, von diesen Berührungspunkten ein Bild zu geben, wobei ich naturgemäß vor diesem Forum von Schiffbauern stärker die luftschiffbauliche Seite der Verhältnisse betone und vielleicht auch in einigen Punkten über die vergleichende Betrachtung hinaus dem Schiffbauer ein Bild geben möchte, wie sich die gesamten Grundlagen des Luftschiffbaues gestalten. Dies Bild ergibt sich, wenn man die Begriffe, die uns Schiffbauern als Grundlagen der Konstruktion dienen, der Reihe nach betrachtet und sich vergegenwärtigt, wie diese Begriffe im Luftschiffbau verwirklicht sind und welche Folgerungen sich aus ihrer anderen Ausgestaltung gegenüber dem Schiffbau ergeben.

I. Displacement.

Daß ein Luftschiff schwimmt, beruht natürlich auf demselben Grundprinzip, wie im Wasser. Im Wasser gestaltet sich dies sehr einfach. 1 cbm bedeutet rund eine Tonne. Das Luftgewicht ist so klein gegenüber dem Wassergewicht, daß es keiner Berücksichtigung bedarf, und das Gewicht des Wassers ist in allen Tiefen, die praktisch auch für untergetauchte Körper in Betracht kommen, annähernd dasselbe. In der Luft liegen die Verhältnisse erheblich komplizierter, und zwar sowohl schon für das einfache Schwimmen bei der Abfahrt als auch noch besonders für den Wechsel der Kräfte im Verlauf der Fahrt.

1. Die Verhältnisse bei der Abfahrt.

Das Displacement in der Luft wird dadurch hergestellt, daß Hohlräume, Gasräume ausgefüllt werden mit einem Gase, das spezifisch leichter ist als Luft und das natürlich möglichst leicht sein muß. Das Displacement der festen Stoffe ist demgegenüber so klein, daß es vernachlässigt werden kann. Als Füllgas kommt praktisch nur Wasserstoff in Frage. Das Displacement, der Auftrieb, oder wie man zur Vermeidung von Mißverständnissen im Luftschiffbau besser sagt, die Hubkraft eines Kubikmeters ist also das Gewicht eines Kubikmeters Luft, vermindert um das Gewicht eines Kubikmeters des in den Hohlräumen enthaltenen Wasserstoffes. Das Gewicht der Luft ist nach dem herrschenden Druck, ausgedrückt durch den Barometerstand, und nach der Temperatur und der Feuchtigkeit einem sehr großen Wechsel unterworfen. Die wissenschaftlichen Gesetze dafür sind bekannt, zahlenmäßige Beispiele folgen unten. Ein Kubikmeter Luft wiegt bei einem Barometerstand von 760 mm, einer Temperatur von 0° und einer relativen Feuchtigkeit von 70% 1,293 kg. Das Gewicht des Wasserstoffes wird nun zunächst durch dieselben Faktoren beeinflusst, die eben für die Luft entwickelt wurden. Diese Einflüsse treten aber zurück hinter dem großen Einfluß der Reinheit des Wasserstoffes, der im praktischen Gebrauch nur außerordentlich schwer chemisch rein zu erhalten ist; es liegt ja auf der Hand, daß ein vollkommener Abschluß gegen alle Erscheinungen der Diffusion und Undichtigkeit von Ventilen, Austrittsöffnungen u. dergl. nur durch große Gewichte erreichbar ist, und größere Gewichte sind, wie wir gleich näher sehen werden, beim Luftschiff vollkommen ausgeschlossen. Das spezifische Gewicht des Wasserstoffes, bezogen auf Luft, beträgt in chemisch reinem Zustande 0,07. Es ist aber tatsächlich in den möglichen Aufbewahrungsorten, Gasometern und Transportflaschen, wohl selten kleiner als 0,08 und im Luftschiff selber kaum jemals kleiner als 0,1; bei nicht ganz erstklassigem Hüllenmaterial sowie bei längerem Stehen unpraller

Ballons sind auch Gewichte von 0,14 bis 0,15 keine besondere Ausnahme. Im praktischen Dauerbetrieb der Starrluftschiffe kann man vielleicht mit 0,12 bis 0,13 rechnen. Aus diesen Darlegungen ergibt sich zunächst der außerordentliche Wechsel, dem das Displacement, die Hubkraft eines Luftschiffes, bei verschiedenen Verhältnissen unterworfen ist. Wie sehr die Hubkraft in praktisch vorkommenden Fällen schwanken kann, zeigt folgende kleine Tabelle:

Hubkraft von 1 cbm Gasraum

1. bei Barometerstand 770	Temperatur -10° C.	spezif. Gewicht des Gases 0,1	1,228 kg
2. " " 760	" $+10^{\circ}$ C.	" " " " 0,125	1,090 "
3. " " 740	" $+20^{\circ}$ C.	" " " " 0,14	1,006 "

Alle Angaben über Hubkraft in Kilogramm haben also bei Luftschiffen nur Sinn, wenn angegeben ist, für welche Verhältnisse sie gelten sollen. Das gilt in besonders hohem Maße für alle Angaben über die sogenannte Nutzlast, wozu noch kommt, daß der Begriff Nutzlast ein äußerst schwankender Begriff ist und ohne ausführliche Bestimmungen in der Regel zu ganz falschen Bildern führt. Wirklichen Vergleichswert haben nur Angaben über den zur Verfügung stehenden Gasraum und über das Gewicht, das Schiffskörper, Maschinenanlagen und die lufttechnisch notwendige Ausrüstung des fahrfertigen Schiffes erfordern, ohne Ballast, Besatzung, Betriebsstoffe und die etwaige militärische oder besonderen Zwecken dienende Ausrüstung. Dabei sei noch bemerkt, daß der Gasraum auch keine ganz konstante Größe ist, sondern etwas mit dem Feuchtigkeitsgrade der Luft wechselt, der kleine Verschiedenheiten in der Ausdehnung der Gaszellen zuläßt. Auch das Baugewicht ist nicht ganz konstant. Die Hüllen und Zellen sind alle hygroskopisch und daher bei feuchtem Wetter erheblich schwerer. Der durch diese beiden Umstände hervorgerufene Wechsel in der Hubkraft kann bei einem großen Starrschiff bis zu etwa 600 kg betragen.

Neben der Illustration, wie sehr die Verhältnisse wechseln können, gibt aber die eben erhaltene Gleichung: 1 cbm Displacement = 1–1,2 kg Hubkraft, die eigentliche Grundtatsache des ganzen Luftschiffbaues. Im Wasser 1 cbm = 1000 kg, in der Luft 1 cbm = 1 kg. Darin liegt für den Schiffbauer, richtig gelesen, das Verständnis des Luftschiffbaues. Wir sehen mit Recht eine der Hauptschwierigkeiten des Schiffbaues gegenüber allen anderen Gebieten der ausführenden Technik darin, daß wir außerordentlich stark auf leichtes Gewicht hinarbeiten müssen. Alle Neuerungen werden in erster Linie beurteilt unter dem Gesichtspunkt, was sie wiegen, und wie einige Tonnen gegenüber den bisherigen Ausführungen gespart

werden können. Wir haben ja auch tatsächlich große Gebiete der Technik ganz unter diesen Einfluß gezwungen, und die Sonderentwicklung für den Schiffbau heißt auf vielen Maschinenbaugebieten einfach Entwicklung auf Leichtigkeit. Was will das aber besagen gegenüber Verhältnissen, wo 1 cbm nur den tausendsten Teil der Hubkraft liefert. Alle Bauprobleme des Luftschiffbaues werden erst durch diese Tatsache verständlich. So manches im praktischen Luftschiffbau berührt das Schiffbauerauge zunächst wenig angenehm durch seine anscheinend unsorgfältige Konstruktion; es muß aber so ausgeführt werden, weil die bessere, das Auge mehr befriedigende Ausführung einige Kilogramm mehr erfordern würde. Die großen Luftriesen, die so groß sind wie ein Linienschiff und deren ungeheure Abmessungen fast überwältigend wirken, wenn man zum ersten Male dicht an sie herantritt, sind vom Standpunkte des Gewichts aus gesehen kleine Boote. Es wird daher auch ohne weiteres verständlich, eine wie große Rolle das e i n e absolute Gewicht, das bei jedem Menschenwerk nicht zu beseitigen ist, der Mensch selber, spielt. Er wiegt ja immer dasselbe, besondere Menschen für Luftschiffe können nicht konstruiert werden. Es erklärt sich so die Wichtigkeit, die auch bei den größten Luftriesen die Frage hat, ob noch ein Mensch mehr mitfahren kann oder nicht. Auch der Prozentsatz, den die Besatzung im Gewicht des fahrfertigen Schiffes ausmacht, wird dadurch natürlich ein ganz ungewohnter. Eine kleine Übersicht der Gewichtsverhältnisse, wie sie beispielsweise etwa bei einem Passagierluftschiff des Zeppelintyps herrschen werden, zeigt dies. Das Displacement beträgt ungefähr 20 000 cbm. Die Hubkraft also bei mittleren Verhältnissen, wie sie ungefähr dem zweiten Fall der oben gegebenen Tabelle entsprechen, etwa $1,09 \text{ kg} \times 20\,000 = 22\,000 \text{ kg}$. Davon entfallen 16 500 kg auf das fahrfertige Schiff mit Maschinenanlagen und notwendiger Ausrüstung und etwa 1100 kg oder 5% auf die Besatzung. Das würde für ein Seeschiff von entsprechendem Displacement etwa bedeuten, daß 1100 t oder 11 000 Mann Besatzung an Bord wären. Der Rest des in jedem Einzelfall verfügbaren Gewichts bleibt übrig für die eigentliche Nutzlast, Ballast, Betriebsstoffe und Passagiere. An diesem variablen Rest des Gewichts wird der Wechsel wirksam, der oben schon berührt wurde. Wie er sich zahlenmäßig darstellt, zeigen folgende Zahlen: Es bleiben bei dem als Beispiel gewählten Passagierluftschiff für Ballast, Betriebsstoffe und Passagiere übrig: im Fall 1 der Tabelle: 6800 kg, im Fall 2: 4400 kg und im Fall 3: 2500 kg.

In dieser Grundgleichung $1 \text{ cbm} = 1 \text{ kg}$ liegt auch, ganz allgemein gesprochen, die Grenze für die Entwicklung der Luftschiffahrt überhaupt. Höhere Leistungen, heißen sie nun Aktionsradius, Mitnahme von Personen oder von Kriegsmaterial, bedingen, sobald sie eine einigermaßen große Zahl von Kilogramm be-

deuten, eine ganz ungemaine Vergrößerung des Deplacements der Luftschiffe. Daß einer Vergrößerung ins Ungemessene schließlich Grenzen gesetzt sind, liegt auf der Hand. Allerdings haben wir wohl zurzeit noch nicht die Grenzen erreicht, die wir bewältigen können. Bei der allgemeinen Beurteilung dieser Frage wird ja leicht übersehen, was uns Schiffbauern selbstverständlich ist, daß die Vergrößerung der einzelnen Dimensionen nur die dritte Wurzel aus der Vergrößerung des Gesamtdeplacements bedeutet.

2. Die Verhältnisse während der Fahrt.

Während der Fahrt tritt in den Auftriebsverhältnissen der Luftschiffe ein starker Wechsel ein. Alle Gase dehnen sich nach bekannten Gesetzen aus, sobald ihr Druck sinkt und ihre Temperatur steigt, und zwar im geraden Verhältnis der Drucke und der absoluten Temperatur. Diese Ausdehnung, oder im umgekehrten Prozesse die Zusammenziehung, hat weiter keinen Einfluß auf die Hubkraft, solange Luft und Gas denselben Einflüssen unterliegen und solange für die Ausdehnung des Gases in den vorhandenen Gasräumen genügend Platz ist. (Auch die Luft ist ein Gas und folgt denselben Gesetzen wie der Wasserstoff.) Der Einfluß der Veränderungen wird aber sofort sehr bedeutend, wenn für Luft und Wasserstoff verschiedene Verhältnisse vorliegen oder Räume für die Ausdehnung des Wasserstoffes nicht verfügbar sind. Wir wollen untersuchen, wie das im einzelnen liegt.

a) Der Wechsel des Drucks wird hervorgerufen durch den Wechsel der Höhe, in der das Luftschiff fährt. Er nimmt mit wachsender Höhe ab. Der Barometerstand beträgt am Meeresniveau normal 760 mm, in 500 m Höhe nur etwa noch 725 mm, in 1000 m Höhe 680 mm. Diesem Einfluß sind Gas und Luft ganz gleichmäßig unterworfen. Der Überdruck, der im Innern des Luftschiffes herrscht und durch die Einstellung der Sicherheitsventile erhalten wird, ist ein konstanter geringer Zusatzwert zu dem außen wirksamen Gasdruck und ändert an dem allgemeinen Verhalten nichts.

b) Dem Wechsel der Temperatur unterliegen beide nicht ohne weiteres in derselben Weise. Erstens nimmt das Gas die in den verschiedenen Höhenschichten wechselnde Lufttemperatur, die übrigens nicht immer konstant mit der Höhe abnimmt, sondern unter Umständen durch Inversionen starken Unregelmäßigkeiten unterworfen ist, nicht augenblicklich, sondern mit einer gewissen Verzögerung an, so daß bei schnellem Höhenwechsel nach oben und unten jede Kombination möglich wird. Zweitens erhält das Gas bei klarem Wetter durch den Einfluß der Sonnenstrahlung auf die Hülle des Luftschiffes eine Erhöhung der Temperatur über die der Luft hinaus, die recht beträchtlich sein kann, im Zeppelinluftschiff z. B. leicht

den Betrag von 10—12^o erreicht. Im Freiballon ist sie noch viel größer, sie wird im Luftschiff gemildert durch die kühlende Wirkung des Fahrtwindes.

c) Genügender Gasraum für freie Ausdehnung des Gases ist im Luftschiff im Augenblick der Abfahrt fast nie vorhanden, im allgemeinen sind bei der Abfahrt alle als Gasräume verfügbaren Räume des Luftschiffes mit Gas gefüllt. Ein Steigen in größere Höhen und eine Erhöhung der Temperatur des Gases über die der Luft hinaus während der Fahrt zwingt also einen Teil des Gases aus dem gefüllten Gasraum auszutreten, sobald ein gewisser kleiner Überdruck überschritten ist, auf den die Sicherheitsventile eingestellt sind; derselbe kann nicht sehr hoch sein, da bei der leichten Bauart große Drücke nicht aufgenommen werden können. Dieser Teil der Hubkraft ist dauernd und unwiederbringlich verloren. Er wird auch nicht etwa dadurch wieder gewonnen, daß das Luftschiff später, wenn es aus den dünnen Luftschichten wieder herabsteigt, in dickere, tragfähigere Schichten gelangt; denn was es durch die tragfähigere Luft an Hubkraft gewinnt, verliert es durch die Zusammenziehung des Gases, die sich unter dem Einfluß derselben Drucksteigerung vollzieht. Das Produkt aus Druck und Volumen ist stets konstant. Gegen diesen Verlust läßt sich auch durch das vielfach vorgeschlagene Mitführen von Ersatzwasserstoff in irgendeiner Form praktisch nichts erreichen, da damit viel zu große Gewichte verbunden sein würden. Auch ist für die Hubkraft dadurch nichts gewonnen, daß man einen Teil des Gasraumes bei der Abfahrt nicht füllt und in diesem das sich ausdehnende Gas aufnimmt, sei es nun, daß man besondere Gaszellen für diesen Zweck vorsieht oder alle Gaszellen nur zum Teil füllt.

Damit erreicht man zwar, daß man während der Fahrt keine Hubkraft verliert, aber auf Kosten der Hubkraft bei der Abfahrt; d. h. man beraubt sich von vornherein des Teils der Hubkraft, den man vielleicht während der Fahrt verlieren wird. Ob ein solcher Verlust infolge Gasausdehnung tatsächlich eintritt oder ins Gewicht fällt, läßt sich für längere Fahrten von vornherein garnicht übersehen. Nach einer gewissen Zeit ist er zum Ausgleich der Wirkung des Brennstoffverbrauchs normaler Weise sogar erwünscht.

Der durch den Gasverlust entstehende Verlust an Hubkraft kann recht beträchtlich sein. 1^o Übertemperatur des Gases bedeutet einen Verlust von 0,36% der gesamten Hubkraft, 80—100 m Steigen etwa 1%. Die genauen Zahlen sind nicht allein durch die Theorie gegeben, sondern auch von praktischen Faktoren abhängig, auf die einzugehen hier zu weit gehen würde. Wenn das oben genannte Passagierluftschiff auf 1000 m Höhe steigt, verliert es etwa 2000 cbm Displacement und also im Fall $2:1,09 \text{ kg} \times 2000 = 2200 \text{ kg}$ Hubkraft.

3. Die konstruktive Gestaltung.

Die Art, wie die Gasaufnahme und die Gasausdehnung und Zusammenziehung konstruktiv verwirklicht wird, ist verschieden bei den beiden Hauptarten der Luftschiffe, die möglich sind: den Prallluftschiffen und den Gerüstluftschiffen. Beispiele für die Gasaufnahme im Prallluftschiff zeigt die schematische Darstellung eines Parsevalluftschiffes in Fig. 1, des Luftschiffes von Siemens-Schuckert in Fig. 2. Bei diesen Schiffen wird die Form dadurch hergestellt, daß im Innern des ganzen Schiffes ein gewisser Überdruck künstlich durch eine Ventilatoranlage erzeugt wird. Er muß ständig auf derselben Höhe bleiben,

Parseval-Luftschiff.

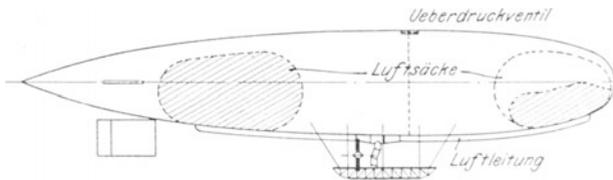


Fig 1.

Luftschiff von Siemens-Schuckert.

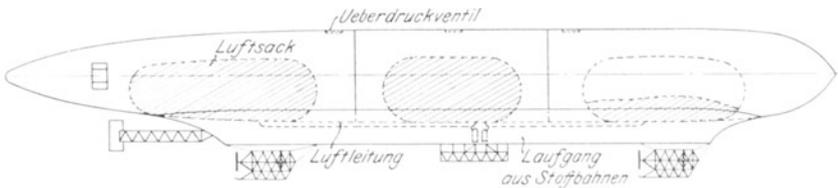


Fig. 2.

wenn das Luftschiff nicht zusammenknicken soll und dafür ist naturgemäß erforderlich, daß leere Räume im Luftschiff nicht vorhanden sein dürfen; wenn das Gas sich zusammenzieht, muß es durch Luft unter demselben Druck ersetzt werden. Zu diesem Zweck sind ein oder mehrere Luftsäcke, sogenannte Ballonets im Luftschiff vorhanden, die durch einen Ventilator mit Reguliervorrichtung auf diesen Überdruck soweit aufgeblasen werden, daß ein fehlender Gasinhalt des Ballons stets ersetzt wird. In den Fig. 1 und 2 ist das eine Ballonett im voll aufgeblasenen, das andere im nur teilweise aufgeblasenen Zustande dargestellt. Wenn das Gas sich ausdehnt und in den Ballonets noch Luft vorhanden ist, wird diese herausgedrückt bis zum vollständigen Zusammendrücken der Ballonets. Entsteht dann ein noch weiterer Überdruck, so öffnet sich ein oben am

Luftschiff sitzendes Überdruckventil, durch das das Gas entweicht. Beim Siemens-Schuckertschiff sind drei Ballonets vorhanden, entsprechend den drei Gasräumen, in die das Schiff geteilt ist. Die Ballonets müssen nach der Ausdehnung und Wiederausammenziehung des Gases bemessen werden, die als äußerste für das betreffende Luftschiff zugelassen werden soll; in ihrer Größe liegt daher eine Grenze für die Höhe, die das Schiff erreichen kann. Für die Frage, ob das Schiff zu Anfang ganz mit Gas gefüllt oder ein Teil der Ballonets aufgeblasen werden soll, gilt das vorhin Gesagte über teilweises Leerlassen von Gasräumen.

Bei den starren oder Gerüstluftschiffen wird die Form des Schiffes durch das Gerüst, das mit einer besonderen äußeren Hülle bespannt ist, hergestellt und für

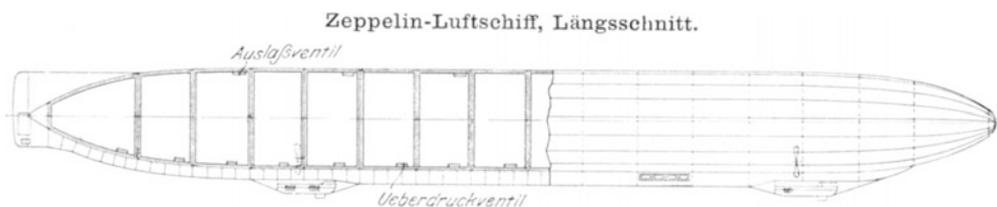


Fig. 3 a

die Aufnahme des Gases sind eine Anzahl verschiedener Zellen vorhanden. Diese bedürfen naturgemäß keines Ballonets; sie können innerhalb des Gerüsts prall oder unprall sein, ohne daß dadurch die Schiffsform beeinflußt wird. Fig. 3 zeigt an dem Beispiel eines Zeppelinluftschiffes im Querschnitt eine Zelle im prallen und im unprallen Zustand. Die Gasventile für das Entweichen des Gases sitzen unten, damit beim Abblasen der Ventile aus den Zellen das unten sitzende schwere, mit Luft vermischte, also schlechte Wasserstoffgas entweicht und die spezifische Reinheit des Gases durch das Abblasen des Gases dauernd verbessert wird. Prallschiffe haben nicht so sehr unter der Verschlechterung des Gases zu leiden. Fig. 4 zeigt die im Prinzip gleiche Anordnung der Zellen in einem Schütte-Lanz-Luftschiff.

**Zeppelin-Luftschiff,
Querschnitt.**

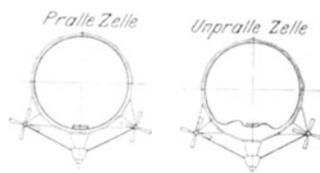


Fig. 3 b.

4. Ballast.

Ebenso wie das Displacement einem ständigen Wechsel unterworfen ist, ist es auch das Gewicht. Es wird ständig kleiner durch den Verbrauch an Betriebsstoffen, gelegentlich größer durch Regen- und Schneebelastung, die sehr be-

trächtliche Werte annehmen kann und bei einem großen Zeppelinluftschiff sicher $1-1\frac{1}{2}$, auch 2 Tonnen erreicht.

Es ist daher ein reiner Zufall, wenn während der Fahrt die statische Gleichgewichtslage, die Schwimmelage sich deckt mit der gewollten Höhenlage. Die Differenz wird bei kleineren Beträgen ausgeglichen durch die dynamische Steuerungwirkung der Höhensteuerung. Wenn jedoch die Wirkung des Gasverlustes beim Erreichen größerer Höhen oder bei Sonnenstrahlung einerseits und diejenige des Betriebsstoffverbrauchs auf der andern Seite sich nicht gegenseitig ausgleichen, kann die Differenz leicht so groß werden, daß dieser dynamische Ausgleich nicht mehr möglich ist, und außerdem hört er sofort auf, sobald man die Maschinen stoppen muß, also z. B. bei der Landung. Übrigens ist das Schiff durchaus nicht immer zu schwer, sehr oft nach langen Fahrten in geringen Höhen ist es zu leicht geworden. Man muß daher Mittel besitzen, den Auftrieb des Schiffs rein



Fig. 4.

statisch während der Fahrt zu verkleinern oder zu vergrößern. Das Verkleinern geschieht durch das Auslassen von Gas mittels durch Zug zu öffnende Ventile, die sich beim Prallschiff mit den Überdruckventilen decken, bei den Starrschiffen (siehe Fig. 3 und 4) als besondere Ventile oben an den Zellen sitzen. Praktisch kann an Stelle des Ziehens der Ventile auch das absichtliche Aufsuchen größerer Höhen treten. Das Vergrößern des Auftriebs geschieht durch Abwerfen von Gewichten. Zu diesem Zweck kann man entweder besondere abwerfbare Gewichte, wofür bei Luftschiffen nur Wasser in Betracht kommt, vorsehen oder auch einen Teil der Betriebsstoffe heranziehen. Das letztere kommt hauptsächlich in Betracht, wenn die Gefahr entsteht, daß das Luftschiff gegen seinen Willen in große Höhen hinaufgerissen wird.

Dieser Begriff des abwerfbaren Ballastes ist also bedingt durch die besonderen Verhältnisse des Displacements beim Schwimmen in der Luft. Man könnte versucht sein, die ausblasbaren Tanks der Unterseeboote zum Vergleich heranzuziehen, indessen liegen doch hier insofern andere Verhältnisse vor, als das Füllen

und Entleeren der Tanks im wesentlichen dazu dient, das Überseeschiff in ein Unterseeschiff zu verwandeln. Dagegen sind ziemlich vollständig vergleichbar die Fahrverhältnisse eines Unterseebootes, das ohne Restauftrieb unter Wasser fährt, und die eines Luftschiffes, das nicht prall gefüllt war oder nach dem Erreichen großer Höhen tief unter der Höhe fährt, in der seine Gaszellen wieder prall werden würden (Prallhöhe), bei dem also keine Veränderung der Höhenlage mehr zum Austreten von Gas aus den Zellen führen kann. Auch dieses Luftschiff fährt mit einem praktisch stets gleichen Auftrieb, nur reguliert durch die Höhensteuerung. Die Differenz gegen das Fahren des Unterseebootes, besteht für die Luftfahrt dann im wesentlichen nur in dem sehr viel größeren Einfluß der Temperatur und in dem Leichterwerden durch Betriebsstoffverbrauch.

4. Die Abmessungen und Formen des Schiffskörpers.

Von den Verhältniszahlen, mit denen man im Schiffbau arbeitet, verlieren hier viele ihre Bedeutung. Eigentlichen Wert hat nur das Verhältnis der Länge zum Durchmesser (da es sich in der Regel um angenäherte Rotationskörper handelt). Dies Verhältnis ist anders zu bewerten als das $L : B$ im Schiffbau. Dort gibt eine verhältnismäßig große Länge große Geschwindigkeit und großes Gewicht, kleine Stabilität und schlechte Festigkeits- und Manövriereigenschaften. Im Luftschiffbau ist die Wirkung für den Hauptpunkt, die Schnelligkeit, nicht ohne weiteres die gleiche. Denn hier fällt die Wellenbewegung und damit das Hauptmoment für die günstige Wirkung der Längenzunahme fort, während der ungünstige Einfluß bestehen bleibt, den die Vergrößerung der Länge dadurch ausübt, daß mit ihr die Reibungsfläche wächst. Auf das Gewicht wirkt die Längenzunahme in demselben ungünstigen Sinne wie im Schiffbau. Auch hieran ist die mit ihr verbundene Oberflächenvergrößerung sehr beteiligt, da diejenigen Bauteile, welche die Oberfläche herstellen und mit ihr wachsen, d. h. besonders die Gaszellen, einen wesentlichen Teil des Schiffskörpergewichtes ausmachen. Die Stabilitätsrück-sicht fällt fort. Die schädlichen Einflüsse einer großen Länge auf die Festigkeit und auf die Manövrierfähigkeit bleiben bestehen. Letztere werden hier eher noch mehr betont, da die Manövrierfähigkeit hier für das Steuern in zwei Ebenen in Betracht kommt. Im Ganzen genommen wird man also Luftschiffe, auch wenn sie hohe Geschwindigkeiten erreichen sollen, nicht allzu lang bauen dürfen und in jedem Falle die einzelnen Faktoren sorgfältig prüfen müssen. Die Ausgestaltung der Vor- und Hinterschiffsform im einzelnen wird unten noch näher besprochen werden.

II. Stabilität und Steuerung.

Bei diesen Fragen besteht weitgehender Parallelismus zwischen Unterseebooten und Luftschiffen. Die Querstabilität und die Längsstabilität in der Ruhe sind bei beiden Arten von Fahrzeugen nur abhängig von der Entfernung des Gewichtsschwerpunktes vom Deplacementsschwerpunkt. Die sehr verwickelten Stabilitätsverhältnisse der Unterseeboote im Augenblick des Tauchens spielen für die Luft keine Rolle. Dagegen sind wieder beiden gemeinsam die ebenfalls nicht einfachen Beziehungen der Längsstabilität in der Fahrt. Es liegen auf diesem Gebiete von schiffbaulicher Seite eine gründliche Arbeit von Dr. Klein, von luftschiffbaulicher Seite neben anderen vor allem gute Versuche von Fuhrmann aus der Göttinger Modellversuchsanstalt vor.

1. Stabilitätsbedingungen für die Fahrt.

Auf das in Fahrt befindliche untergetauchte Fahrzeug wirken außer dem statischen Stabilitätsmoment aus Schwerkraft und Auftrieb das dynamische aus Schraubenschub und Flüssigkeitswiderstand. Letzterer aufgefaßt als der Widerstand gegen alle Teile des Fahrzeugs, einschließlich aller Steuer-, Stabilisierungsflächen usw. Fährt das Schiff ohne Restauftrieb und auf ebenem Kiel oder genauer gesagt so, daß Auftriebsschwerpunkt und Gewichtsschwerpunkt übereinander liegen, so herrscht Gleichgewicht, wenn Schraubenschub und Widerstand in dieselbe Angriffslinie fallen. Ungefähr ist dies der Fall bei Unterseebooten und den Zeppelinluftschiffen; bei diesen wird immer als ein besonderer Vorzug erwähnt, daß die Befestigung der Schrauben seitwärts am Schiffskörper diese Bedingung verhältnismäßig leicht zu erfüllen gestattet. Mehr oder weniger weit auseinander gerückt sind die beiden Kräfte bei allen Prallluftschiffen und den bisherigen Vertretern des Schüttetyps, deren Schrauben infolge der losen Aufhängung der Gondel nur an den Gondeln befestigt werden konnten. Am größten ist der Abstand bei den Parsevalschiffen; Parseval hat daher eine besondere Lösung dadurch zu schaffen versucht, daß er die Gondel des Luftschiffes in der Längsrichtung etwas verschiebbar gemacht hat (Fig. 5). Die Gondel hängt senkrecht an einigen festen Seilen und ruht mit Rollen auf Seilen, die nach vorn und hinten laufen. Es wird dadurch erreicht, daß beim Auftreten des Schraubenschubes, also beim Anfahren, die Gondel sich etwas nach vorn verschiebt und dadurch ein statisches Gewichtsmoment erzeugt, das dem unangenehmen Moment aus Schub und Fahrtwiderstand entgegenwirkt.

Indessen darf man die Bedeutung dieses Kippmomentes nicht überschätzen, wie es oft geschieht. Denn die Ruderwirkung, die gegen dieses Moment erforderlich

wird, ist in jedem Falle nur klein und die theoretisch vielleicht wünschenswerte Forderung, daß bei der Fahrt ohne Restauftrieb kein Ruderlegen erforderlich sein soll, um das Schiff auf ebenem Kiel zu halten, wird dadurch illusorisch, daß schon die äußeren Umstände ein solches Fahren im vollständigen Gleichgewicht praktisch fast nie gestatten, mögen nun böige Winde herrschen oder ein kleines Über- oder Untergewicht auszugleichen sein. Denn bei dem oben geschilderten Wechsel von Hubkraft und Gewicht ist es ein seltener Zufall, daß sie bei der gewollten Höhenlage einander gleich sind. In den weitaus meisten Fällen müssen Schraubenschub und Widerstand eine vertikale Resultierende bilden, die das Über- oder Untergewicht ausgleicht, wobei die Veränderung der Resultierenden durch die Bewegung der Ruderflächen hervorgerufen wird. Soll dabei das Fahrzeug auf ebenem Kiel bleiben, so muß die Angriffslinie der Resultierenden in die des Restauftriebes fallen.

Verschiebbare Gondel der Parseval-Luftschiffe.

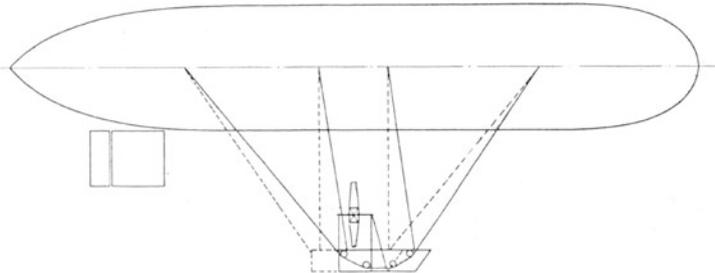


Fig. 5.

Die Frage, welche Lagen die Angriffslinien der Widerstände haben, ist noch wenig geklärt; sicher erscheint nach dem wenigen Versuchsmaterial, daß schon bei kleiner Neigung starke Verschiebungen der Widerstände hervorgerufen werden, daß ihre Lage sehr stark beeinflußt wird von der Gestaltung der Horizontalprojektionen (beispielsweise durch Stabilisierungsflächen) und daß die Resultierende sehr weit vorn angreift, daß sie sogar, was zunächst befremdend wirkt, außerhalb des Schiffskörpers liegen kann.

Mehr als auf das genaue Zusammenfallen der Angriffslinien von Schub und Widerstand kommt es darauf an, daß die Gesamtgestaltung der Form und der Anhängsel das Fahrzeug dynamisch stabil macht. Dazu ist erforderlich, daß die Änderungen des Widerstandes bei Neigungen stets bestrebt sind, das Fahrzeug in die horizontale Lage zurückzudrehen. Ist dies nicht der Fall, so muß es stets durch Ruderwirkung wieder in die Anfangslage zurückgedreht werden, d. h. es

bewegt sich praktisch in einem stark wechselnden Kurse mit großem Fahrtverlust. Dieser stabilisierenden Wirkung dienen die Flächen, die hinten an dem Luftschiff angebracht sind, vermöge des Druckes, den sie bei Neigungen gegen die Fahrtrichtung hervorrufen. Vorn angebrachte Stabilisierungsflächen würden gerade die entgegengesetzte Wirkung haben; sie würden die Fahrt unstabil und unruhig machen.

2. Steuerung.

Die Verhältnisse der Seitensteuerung unterscheiden sich nicht merkbar von denjenigen der Schiffe im allgemeinen. Gegenüber oft gemachten Vorschlägen sei bemerkt, daß ein Steuern ohne Ruder, mit den Schrauben allein, beim Luftschiff genau so wie bei Seeschiffen ein nur zur Not anwendbares Aushilfsmittel bildet, um so mehr als die Benzinmotore der Luftschiffe sich erheblich schlechter regulieren lassen als unsere feinfühligten Dampfmaschinen. Die Höhensteuerung vollzieht sich ähnlich wie bei Unterseebooten. Das Hauptmittel bildet die Flächensteuerung; außerdem ist für Luftschiffe, in höherem Maße als für Unterseeboote, die Steuerung durch Verschieben von Gewichten möglich. Eines der ersten Zeppelinluftschiffe hatte ein verschiebbares Laufgewicht. In Prallluftschiffen hat man Tanks zum Umpumpen von Wasser gehabt, und vielfach hat man mit dem Umpumpen von Luft von einem Ballonet in das andere, also mit einer Deplacementsverschiebung gearbeitet. Immer wieder taucht auch die Idee des Steuerns mit drehbaren Schrauben, wohl sogar mit einer besonderen Hubschraube, auf. Diese Konstruktion ist natürlich hier ebenso wie im Schiffbau praktisch wertlos, und auch die anderen Maßnahmen sind in der Präzision und Schnelligkeit der Wirkung dem einfachen Flächensteuer weit unterlegen, das auch heutzutage in den meisten Fällen ausgeführt wird. Nur für bestimmte Fälle bei der Landung, wo man unter Umständen das schon fahrtlose Schiff steuern muß, behalten kleine abwerfbare Wassermengen, sogenannter Momentballast, ihren Wert.

Nicht völlige Einheit der Anschauungen besteht über die zweckmäßigste Art der Anbringung des Höhensteuers. Bei den meisten Unterseebooten, gelegentlich auch bei Luftschiffen, hat man Höhensteuer vorn und hinten; die meisten neueren Luftschiffe und manche Unterseeboote nur hinten. Für die Anbringung zweier Ruderpaare bei den Unterseebooten ist maßgebend, daß sie ein einfaches Mittel bilden, um auf ebenem Kiel ein Über- oder Untergewicht gegenüber der Schwimmgleichgewichtslage auszugleichen (Fig. 6). Dieses Fahren auf ebenem Kiel ist für Unterseeboote wichtig, hat aber für Luftschiffe keine besondere Bedeutung; für sie ist daher die Anbringung von zwei Paar Rudern eine überflüssige Komplikation. Für die Anbringung der Ruderpaare vorn, die in der

Literatur oft empfohlen wird, wird folgendes geltend gemacht: bei jedem Ruderlegen entsteht neben dem Momente eine freie Kraft, die eine Parallelverschiebung des Schiffes, d. h. also beim Höhenruder eine Hebung oder Senkung des Schiffes hervorruft. Es liegt in dem Anbringungsort begründet (Fig. 7), daß beim Bugruder diese Vertikalkraft auf Heben wirkt, wenn das Ruder auf Heben gelegt wird, beim Heckruder dagegen auf Senken, wenn das Ruder auf Heben wirkt. Die Parallelverschiebung geht demnach beim Bugruder in demselben Sinne wie die beabsichtigte Bewegung, beim Heckruder aber im umgekehrten. Dies ist ein Nachteil des Heckruders, der eine gewisse Bedeutung für Höhenwechsel in etwas kritischen Situationen hat. Gegen die Bugruder spricht aber, daß sie in ihrer Wirkung als vorgelegene Stabilisierungsflächen den Gang der Fahrt sehr unruhig machen; auch wirken sie schlechter als Heckruder, weil sie dem Dreh-

Fahren auf ebenem Kiel mit zwei Rudern.



Fahren mit Heckruder und mit Bugruder.



Fahren mit einem Ruder.



Fig. 6.

Fig. 7.

punkt des Schiffes näher liegen. Andererseits spricht zugunsten der Heckruder, daß sie die unterstützende Wirkung des Schraubenstromes haben; diese ist außerordentlich hoch einzuschätzen, besonders für die Steuerfähigkeit im Moment des Anfahrens. Ohne Heckruder wird man daher nie auskommen und läßt dann die Bugruder aus den dargelegten Gründen wohl besser fort.

III. Widerstand und Antrieb.

1. Die Natur des Widerstandes.

Der Widerstand der Luftschiffe unterscheidet sich durch den Fortfall des Wellenwiderstandes wesentlich von dem der Seeschiffe im allgemeinen; mit demjenigen der Unterwasserfahrzeuge hat er jedoch vieles Grundsätzliche gemeinsam. In der Aerodynamik und der Hydrodynamik folgt die Untersuchung der Widerstände untergetauchter Körper sogar so übereinstimmenden Grundsätzen, daß in

unserer Schwestergesellschaft gelegentlich vorgeschlagen ist, diese beiden Wissenschaftszweige unter dem Namen Strömungslehre zusammenzufassen. Dieser Vorschlag zeigt zugleich, wie gut man wissenschaftlich klingende Fremdworte durch deutsche ersetzen kann, ohne dem Wesen der Sache den geringsten Abbruch zu tun.

In der abstrakten Strömungslehre beruht der enge Zusammenhang dieser Gebiete auf der übereinstimmenden Annahme, daß ihr Medium keine Zähigkeit hat und daher keine Schubkräfte überträgt. Im übrigen wird zwar in der abstrakten Hydromechanik das Medium als unzusammendrückbar angesehen, während es in der Aerodynamik den bekannten Gesetzen über die Kompression folgt; dieser Unterschied ist jedoch für Geschwindigkeiten, mit denen wir es praktisch in der Luft zu tun haben, belanglos (bei 100 m Geschwindigkeit ändert er das Ergebnis erst um 3%, darunter noch erheblich weniger). Diese gemeinsame Annahme von der Zähigkeitslosigkeit des Mediums bewirkt zugleich, daß auf beiden Gebieten die rein abstrakte Behandlung der Widerstandsfragen zu keinem praktisch brauchbaren Ergebnis führt. Denn sie lehrt, daß untergetauchte Körper im stationären Bewegungszustand keinen Widerstand erfahren und daß Wirbel in diesem Medium weder entstehen noch vorgehen können. Auf beiden Gebieten ist daher die Berücksichtigung der Reibungs- und der Wirbelerscheinungen unerlässlich.

Über das Wesen der Reibungserscheinungen hat uns Gumbel im vorigen Jahre durch einen grundlegenden Vortrag eingehend unterrichtet. Wir haben gesehen, daß die Reibung schichtenweiser Strömung nur bei sehr kleinen Geschwindigkeiten auftritt; oberhalb einer gewissen kritischen Geschwindigkeit ist die Reibung mit Wirbelbildung verbunden. Diese Tatsache gilt gleichmässig für Luft und Wasser, und auch für die Potenz der Geschwindigkeit, mit der der Reibungs- oder besser gesagt der Oberflächenwiderstand wächst, ergibt sich aus den Versuchen für beide Medien ein gleichartiger Ausdruck. Er ist wahrscheinlich zusammengesetzt aus einem linearen und einem quadratischen Gliede; bei Fortlassung des ersteren nimmt der Geschwindigkeits-Exponent in beiden Fällen etwa den Wert 1,8 an.

Über die Frage, wie weit der Wirbelwiderstand im ganzen genommen von diesem Reibungswiderstand zu trennen ist, herrscht unter den Forschern keine allgemeine Übereinstimmung. Wenn auch ein großer Teil der Wirbelerscheinungen in den Kreis des Oberflächenwiderstandes hinein gehört, so ist doch sicher, daß die Art, wie Wirbel auftreten, wie sie sich von der Oberfläche ablösen, und der Betrag der Kraft, den sie entweder nutzlos verzehren oder nützlich wieder an den eingetauchten Körper abgeben, auch stark von der Form des Körpers abhängt. Dieser Teil des Wirbelwiderstandes wird daher auch als Formwiderstand aufgefaßt werden können.

Diese durch die Form beeinflussten Wirbel machen einen großen Teil des Kielwassers aus, das wir mehr oder weniger hinter jedem Schiffe verfolgen können. Ihr Anteil am Widerstand wird im allgemeinen als gering gegenüber dem Betrage des Reibungs- und des Wellenwiderstandes angesehen. Diese Anschauung von der Geringfügigkeit des wirbelbildenden Widerstandes ist nicht ohne weiteres auf die Verhältnisse untergetauchter Körper übertragbar; hier treten die Wirbel bis zu einem gewissen Grade an die Stelle der Wellen. Zu ihrer Beschränkung ist es für untergetauchte Fahrzeuge vor allem wichtig, die Sogwirkung des Hinterschiffs durch schlanke Formen möglichst zu vermindern. Auf die Form des Vorschiffs, das seine grundlegende Bedeutung für den Schiffswiderstand dem Einfluß verdankt, den es auf die Wellenbildung an der Oberfläche ausübt, kommt es hier weniger an.

Von Prandtl untersuchte Luftschiffmodelle.

Von Eifel untersuchte Kegelformen mit Wölbung vorn und mit Wölbung hinten.

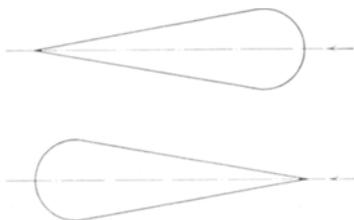


Fig. 8.

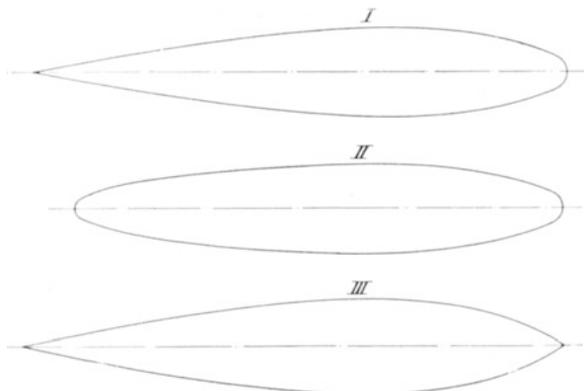


Fig. 9.

Diese Grundsätze gelten nicht nur für Wasser, wie das Beispiel der Fische und der Torpedos zeigt, sondern auch für Luft, wie u. a. Versuche von Eifel mit 2 Kegelformen nach Fig. 8 und von Prandtl mit Luftschiffformen nach Fig. 9 ergeben haben.

Begründet erscheint diese Übereinstimmung in der versuchsmäßig beobachteten Tatsache, daß die Art des Auftretens und der Ablösung der Wirbel in beiden Medien dieselbe ist. Auf diese Tatsache hat bereits Ahlborn in einem früheren Vortrag vor dieser Gesellschaft hingewiesen. Er hat uns an Photogrammen gezeigt, daß die Wirbelbewegungen an einer in Wasser untergetauchten quadratischen Platte bei etwa 40° Neigungswinkel einen ganz anderen Charakter wie bei den geringeren Winkeln annehmen und als Parallele dazu eine von Dines erhaltene Widerstandskurve vorgeführt, die auf denselben Vorgang schließen läßt und später

u. a. von Foepfel bestätigt gefunden ist, wie Fig. 10 zeigt. Foepfel fand, daß sich in der Gegend von 40° in der Luft ein vollkommen labiler Zustand ausbildet. Der Widerstand unterhalb und oberhalb dieser Grenze folgt verschiedenen Gesetzen; an der Grenze es ist möglich, den einen oder den anderen Zustand zu erzielen.

Eine sehr schöne Illustration der Gleichmässigkeit der Wirbelvorgänge in Luft und Wasser bieten auch photographische Aufnahmen, die L. Bairstrow in einem Vortrag vor der englischen Aeronautical Society am 12. Februar 1913 mitgeteilt hat (vgl. Engineering 1912 S. 236/37).

Widerstand einer ebenen quadratischen Platte,
abhängig vom Neigungswinkel.

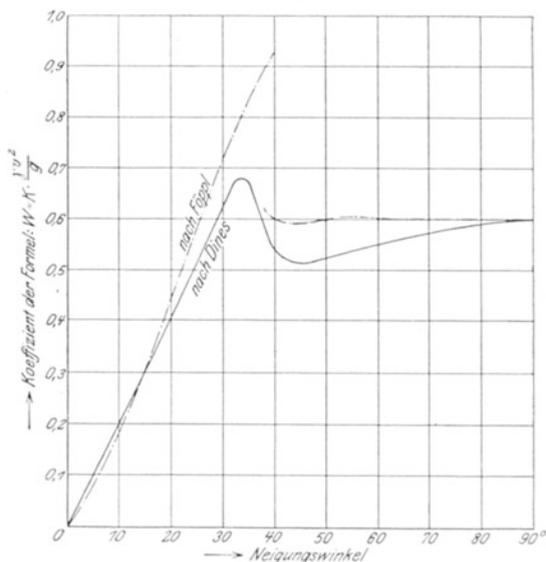


Fig. 10.

So zeigt denn die vorliegende kurze Betrachtung, daß nicht nur die abstrakte, sondern auch die praktische Strömungslehre für Wasser und Luft soviel gleichartige Grundlagen haben, daß man von einer gemeinsamen Wissenschaft zu sprechen tatsächlich berechtigt ist.

2. Versuche zur Bestimmung des Widerstandes.

Zur Klärung der theoretischen wie der praktischen Widerstandsfragen ist der Luftschiffbau ebenso wie der allgemeine Schiffbau auf Versuche angewiesen. Der Zeit- und Kostenersparnis wegen spielt für beide Gebiete der Modellversuch eine große Rolle. Zur Durchführung von Modellversuchen sind auch im Luft-

schiffbau besondere Anstalten entstanden, von denen als wissenschaftlich bedeutendste die Anstalt von Professor Prandtl in Göttingen zu nennen ist.

Während es für die schiffbaulichen Widerstandsversuche Regel ist, die Modelle durch das Wasser zu ziehen, ist diese Anordnung für Luftschiffe im allgemeinen nicht zu empfehlen; denn durch die Massen des Modells und seiner Aufhängevorrichtungen werden leicht Bewegungswiderstände hervorgerufen, die in einem Mißverhältnis zu den zu messenden Kräften stehen. Es ist auch versucht worden, Modellversuche in der Luft an einem Rundlauf-Apparat anzustellen; das große Bedenken dagegen ist, daß das Modell bei späteren Umdrehungen immer wieder in die schon wirbelnde Luft der vorhergehenden Umdrehung kommt und damit ganz unkontrollierbare Verhältnisse eintreten. Das praktisch Beste scheint die Umkehrung des in den Schiffbau-Anstalten üblichen Weges zu sein, das Anblasen der ruhenden Körper mit einem durch künstliche Mittel gleichmäßig gemachten Windstrom.

Schwankungen der horizontalen Geschwindigkeit des Windes.

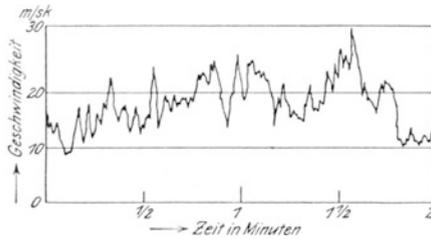


Fig. 11.

Vor unserer Gesellschaft hat die Frage der Umkehrbarkeit ja schon öfters zu Diskussionen geführt. Die Ansichten von Schütte, Ahlborn und Gumbel waren darüber verschieden. Es wurde einerseits behauptet, daß ein Unterschied garnicht vorhanden wäre, andererseits, daß der Widerstand im strömenden Wasser geringer sein müßte, als der im ruhenden, wenn der Körper mit derselben Geschwindigkeit durch dieses hindurchgezogen wird. Ich will zu den theoretischen Erwägungen, die dafür geltend gemacht sind, hier nicht Stellung nehmen, möchte es aber nach den Ergebnissen der Luftwiderstandsmessungen für sicher halten, daß die Ungleichheit der Widerstände praktisch vorhanden ist, jedoch in umgekehrtem Sinne wie behauptet, begründet durch die als Turbulenz bezeichnete Wirbelbewegung der natürlichen Strömung. Sie äußert sich in einem dauernden Schwanken der Geschwindigkeit nach Größe und Richtung, von dem die in Fig. 11 dargestellten Messergebnisse ein Beispiel geben. Diese Schwankungen rufen eine merkliche Erhöhung der scheinbaren Schubspannung des Mediums

und damit des von ihm ausgeübten Widerstandes hervor. Diese Widerstandserhöhung bedingt übrigens für Luftschiffe eine praktisch nicht unwesentliche Herabsetzung der Fahrgeschwindigkeit im Winde gegen über derjenigen bei ruhiger Luft.

Zur Beseitigung der Turbulenz wird in der Anstalt von Professor Prandtl der Windstrom durch ein System von Gleichrichtern und Beruhigungswiderständen geschickt. Wie weit dieses Ziel erreicht wird, bleibe dahingestellt. Groß kann der durch die verbleibende Turbulenz entstehende Fehler jedenfalls nicht sein, und er dürfte durch die Einfachheit der ganzen Anordnung, die auch Druckmessungen am Modell leicht auszuführen gestattet (Fig. 12), mehr als aufgewogen werden. Ein Nachteil, der allen Luftwiderstandsmessungen am Modell anhaftet, ist die

Ergebnisse von Druckmessungen an einem Luftschiffmodell.

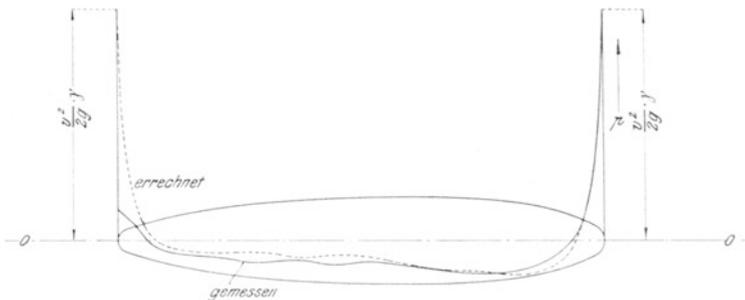


Fig. 12.

Geringfügigkeit der zu messenden Kräfte, die leicht zu fehlerhaften Ergebnissen führt.

Die Grundbedingung des Modellversuchs, daß das Modell unter ähnlichen Strömungsverhältnissen wie das Schiff untersucht wird, ist für luftschiffbauliche Versuche ebensowenig leicht wie für schiffbauliche zu erfüllen. Bei letzteren wird dadurch, daß das Geschwindigkeitsverhältnis von Modell und Schiff gleich dem Verhältnis der Wurzeln aus den Längen gewählt wird, nur die Wellenbildung ähnlich gemacht. Der Vorgang der Reibung wird beim Versuch außer Betracht gelassen, und nur rechnerisch sein Einfluß auf den Widerstand berücksichtigt. Dieses Geschwindigkeitsverhältnis wird, soviel mir bekannt, auch beim Unterwasser-schleppen beibehalten, obgleich es in demselben Maße an Berechtigung verlieren wird, wie die Wellenbildung verschwindet.

Unter Verhältnissen, wo letzteres vollständig zutrifft, insbesondere also bei der Untersuchung von Luftschiffen, soll der Theorie zufolge die Geschwindigkeit

nicht verkleinert, sondern vielmehr soweit vergrößert werden, daß für Schiff und Modell das Produkt aus Länge und Geschwindigkeit konstant bleibt. Dieser Schluß wird zwar innerhalb engerer Grenzen durch den Versuch bestätigt; daß in der Tat unter diesen Umständen die Bewegungsvorgänge ähnlich ausfallen, zeigen u. a. die schon erwähnten Aufnahmen von Bairstrow. Für den Vergleich von Modell und Schiff möchte ich dieser Theorie jedoch besonderen praktischen Wert nicht zusprechen. Es erscheint mir vollkommen ausgeschlossen, daß bei der fundamentalen Geschwindigkeitsänderung, die nach ihr vorgenommen werden müßte, die Wirbelbewegung praktisch noch demselben Gesetze folgt. Hinzu kommt, daß solche Geschwindigkeiten versuchstechnisch nicht verwirklicht werden können.

Praktisch wird auch dieser Anschauung nicht Rechnung getragen. Man ist auf Grund weitergehender theoretischer Erwägungen der Ansicht, daß kein großer Fehler in der relativen Beurteilung der Verhältnisse entsteht, wenn nur die Messungen bei nicht allzu verschiedenen Geschwindigkeiten vorgenommen werden. Interessant für uns Schiffbauer ist die Tatsache, daß der Vorschlag gemacht ist, Luftwiderstandsversuche in das Wasser zu verlegen, da die geringere Zähigkeit desselben nach der Theorie gestattet, die Versuche mit verminderter Geschwindigkeit durchzuführen. Auf diesem Gebiete kann jedenfalls unser Wissen durch Parallelversuche in Luft und Wasser noch wesentlich erweitert werden: was uns fehlt, sind m. E. zunächst eingehende darstellende Untersuchungen der Wirbelvorgänge bei verschiedenen Geschwindigkeiten und verschiedenen Körpermaßstäben.

Angesichts der Fehlerquellen, welche die Ausführung und Verwertung der Modellversuche nach vorstehendem immerhin enthält, besteht auf beiden Fachgebieten das Bedürfnis, soweit als möglich auch Versuche im Großen durchzuführen. Hier stellen sich die Verhältnisse im Luftschiffbau im allgemeinen wesentlich günstiger als im Schiffbau. Was bei den Modellversuchen hinderlich ist, die Geringfügigkeit der Kräfte, ist hier angenehm. Man hat überall, auch beim Messen der größten Kräfte, Größenordnungen, die man meßtechnisch bequem bewältigen kann. Natürlich können Versuche am Objekt selbst nur schwer die Ausdehnung von Modellversuchen annehmen und wissenschaftliche Versuche wegen allgemein störender Nebeneinflüsse, wie z. B. der Turbulenz der Luftbewegung, weniger gut durchgeführt werden. Immerhin aber spielen in der Luft Versuche am Objekt selbst eine große Rolle. Erwähnen möchte ich die vielfachen Versuche mit ausgeführten Schrauben, besonders von Bendemann in Lindenberg, die Versuche an ausgeführten Flugzeugen und schließlich die Auslaufversuche des Luftschiffbau Zeppelin zur Bestimmung des wirklichen Widerstandes von Luftschiffen.

Ob freilich gerade solche Auslaufversuche zur Bestimmung des Widerstandes ganz einwandfrei sind, ist nicht sicher; zwar fällt das eine Bedenken, das im Schiffbau gegen sie spricht, die wechselnde Wellenbewegung fort, dafür aber besteht das andere, daß auch die Art der Ablösung der Wirbel in einem Verzögerungszustande anders ist, als in einem stationären.

3. Wirkungsweise und Ausbildung der Antriebsmittel.

Mit der Frage des Widerstandes hängt in beiden Fachgebieten die des Antriebs der Fahrzeuge eng zusammen, und die Aufgabe, günstige Hilfsmittel zur Übertragung der Antriebskräfte zu schaffen, ist für beide gleich wichtig. Das Mittel dazu ist in beiden Fällen die gegen die Fahrtrichtung geneigte Fläche der Schraube, im Schiffbau auch diejenige des Schaufelrades, Segel und Ruders. Die Erkenntnis der mechanischen Wirkung dieser Fläche ist durch die Einführung der gewölbten

Die gewölbte Platte.

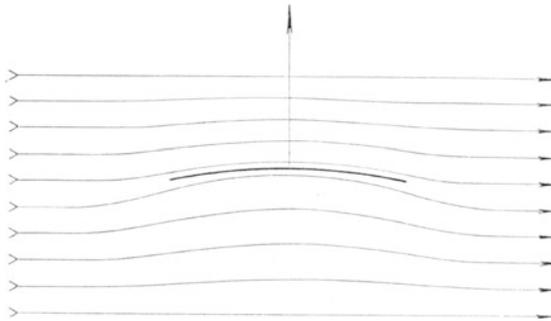


Fig. 13.

Platte wesentlich gefördert worden, die die Flugtechnik ihrem genialen Begründer Lilienthal zu danken hat. Ein sprechender Beweis dafür, wie im Grunde ein großer Teil der wissenschaftlichen Erkenntnis den praktischen Bedürfnissen, und heutzutage in einem höheren Grade die Naturwissenschaft der Technik folgt als umgekehrt. Die gewölbte Platte (Fig. 13) zeichnet sich dadurch aus, daß sie, waagrecht durch die Luft gezogen, neben dem Widerstande in der Windrichtung eine Auftriebskraft ergibt und daß bei Neigungen zur Windrichtung diese Auftriebskraft wesentlich wächst und einen sehr viel höheren Wert gegenüber dem Widerstande erreicht, als bei der einfachen Platte. Die theoretische Erklärung liegt darin, daß an der Oberseite der gewölbten Platte größere Geschwindigkeit und damit kleinerer Druck, an der Unterseite kleinere Geschwindigkeit und damit erhöhter Druck herrscht.

Eine Anschauung davon gibt Fig. 14, Versuchsergebnisse aus der Göttinger Anstalt, die gleichzeitig erkennen lassen, daß man die Wölbung nicht allzuweit treiben darf. Besonders beachtenswert ist die Überlegenheit der gewölbten Platte

Verhältnis von Auftrieb zu Widerstand bei ebenen und gewölbten rechteckigen Platten.

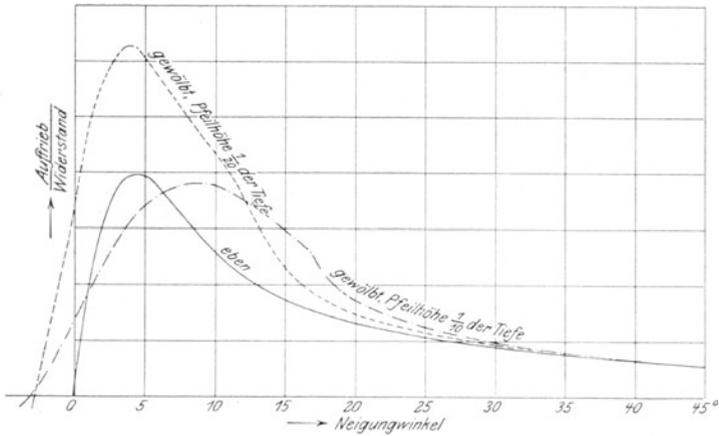


Fig. 14.

Tragflächenformer.

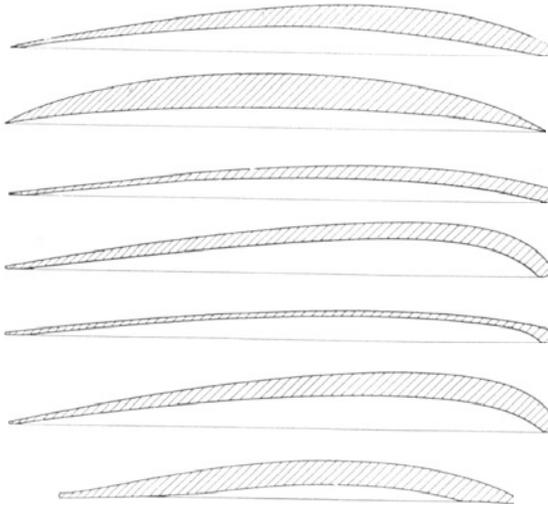


Fig. 15.

für ganz kleine Anstellwinkel und der Umstand, daß sie schon beim Anstellwinkel 0 einen erheblichen Auftrieb besitzt. Auf die Art der Wölbung im einzelnen kommt es offenbar nicht so sehr an. Im allgemeinen ist es wohl vorteilhaft, die stärkere

Wölbung an die Vorderkante zu legen und diese zu verdicken. Wie sehr die ganze Flugtechnik von dieser Eigenart der gewölbten Platte abhängt, ist bekannt. Zur Illustration seien einige Tragflächenformen angeführt, Fig. 15. Für den Schiffbau hat die gewölbte Platte weniger unmittelbare Bedeutung. Indessen wirft die Kenntnis der Verhältnisse der gewölbten Platte schon ein klärendes Licht auf die vielfach so rätselhaft erscheinende gute Wirkung bauchig geschnittener Segel. Erwähnt sei nur, daß sich bei bestimmten Wölbungsverhältnissen und bestimmter Gestaltung der Eintrittskante anscheinend tatsächlich Richtungen des Auftriebes erzielen lassen, die einen direkten Vorwärtzug erzeugen und auch den Segelflug der Vögel erklären.

Genau dasselbe wie für Tragflächen gilt auch für Schrauben. Auch bei ihnen handelt es sich um das Problem, mit möglichst geringem Widerstand in der Bewegungsrichtung einen großen Schub senkrecht dazu zu erzielen. Luftschrauben sind deshalb schon ziemlich von Anfang der Entwicklung an mit gewölbtem Querschnitt konstruiert worden. Ein Beispiel dafür zeigt Fig. 16, Schnitte einer Luftschraube, die zu Versuchszwecken angefertigt wurde und einen sehr günstigen Wirkungsgrad erzielte. Diese Auffassung der Schraubenform als Tragflächenform war dem Schiffbauer bis vor kurzem fremd, d. h. nur mit Bezug auf ihre Begründung, nicht hinsichtlich ihrer praktischen Anwendung als Tragflächenform. Zum Beweise für die äußere Übereinstimmung der Formen seien neben die Schnitte der Luftschraube die Schnitte einer Schiffsschraube in Fig. 17 gestellt. Eine Seite ist zwar bei ihr eben, die andere aber ebenfalls gewölbt und das Gesamtbild demjenigen der Luftschraube gar nicht so unähnlich, wenn man sich von der alten Anschauung frei macht, daß eine Schraube sich im Wasser fortschraubt und daher das Wesentliche ihre Druckseite wäre. Heutzutage ist diese Auffassung nicht mehr aufrecht zu erhalten. Wir wissen, daß die Schraube durch die Beschleunigung des Flüssigkeitsstromes wirkt, den sie durch sich hindurchsaugt und drückt, und daß das Wesentlichste dabei die Wirkung ihrer Saugseite ist. Der Beweis hierfür ist der Schiffbautechnischen Gesellschaft vorgeführt in schönen Schraubenströmungsbildern von Flamm. Auch von anderen schiffbaulichen Forschern ist diese Tatsache betont und für Luftschrauben durch vergleichende Experimente von Bendmann und Druckmessungen an Schraubenflügeln von Fuhrmann einwandfrei bewiesen. Theoretisch ist sie leicht aus dem Umstande zu erklären, daß auf der Saugseite die größeren Flüssigkeitsgeschwindigkeiten herrschen. Die Konstruktion der Schiffsschraube ist gewissermaßen in zwei Punkten fehlgegangen. Man hat geglaubt, es käme auf die mathematische Schraubengestaltung und auf die Druckseite an. In diesem Glauben hat man die Druckseite mathematisch gestaltet und

die Saugseite gewölbt gemacht, da man Material zur Festigkeit brauchte. Diese beiden Fehler haben sich ausgeglichen und dadurch ist das, was man braucht, nämlich die richtige Wölbung an der richtigen Seite von selber entstanden.

Aus dieser Erkenntnis erhält auch der ganze Begriff der Steigung eine gegen früher sehr geänderte Beleuchtung. Die mathematische Steigung der

Luftschraube.

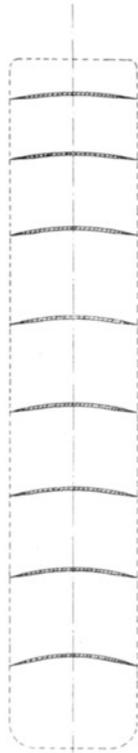


Fig. 16.

Schiffsschraube.

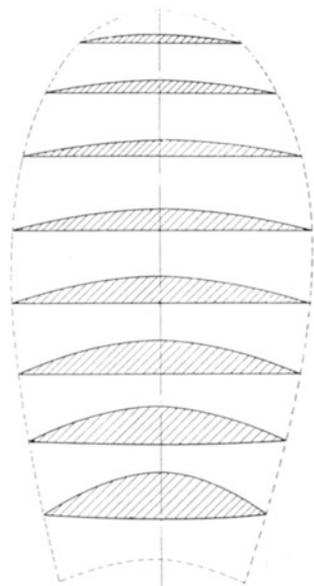


Fig. 17.

Druckfläche ist nur ein zeichnerisches, als solches freilich sehr wertvolles Hilfsmittel, hat aber keine physikalische Bedeutung. Die wirklich wirksame Steigung ist, wie auch aus Modellversuchen, z. B. den gründlichen Untersuchungen von Dr. Gebers, bekannt ist, erheblich größer und nähert sich der Steigung der Saug-

seite an der Austrittskante. Auch das etwas rätselhafte Auftreten des negativen Slips kann man mühelos durch diesen Umstand erklären; ein tatsächlicher negativer Slip braucht dabei noch längst nicht vorhanden zu sein, und man braucht nicht zu der etwas gewundenen Erklärung eines so starken Vorstromes zu greifen, wie es gewöhnlich geschieht.

Es erscheinen so die Wasserschrauben durch die Erkenntnis, die wir von den Luftschrauben her gewonnen haben, in einem neuen Lichte. Praktisch wird nichts geändert, aber die wissenschaftliche Durchdringung der Erscheinung wesentlich erleichtert.

Aus dieser weitgehenden Gleichheit der grundlegenden Verhältnisse bei Luft- und Wasserschrauben folgt auch eine weitgehende Analogie in vielen Einzelfragen, die hier nicht alle verfolgt werden können. Bei beiden Schraubenarten haben anscheinend die Einzelheiten der Flügelform keine so große Bedeutung, wenn nur die Hauptsache, eine gute Wölbung der Saugseite, erreicht ist. Die Druckseite kann ohne Schaden sehr flach gewölbt oder eben sein. Auf die Vorderkante kommt es ebenfalls wenig an. Sie kann verdickt sein und vielleicht sind mit einer Verdickung sogar Vorteile verbunden. Dagegen muß die Austrittskante sehr schlank und gut ausgeschärft sein. Der Wirkungsgrad wächst mit der Vergrößerung der Steigung, d. h. der Verkleinerung der Tourenzahl, wenn man gleichzeitig den Durchmesser der Schrauben groß genug machen kann. Die Breitenausdehnung der Schraubenflügel in Luft und Wasser ist, wie schon der Vergleich von Fig. 16 und 17 zeigt, sehr verschieden und nach Reisner durch die verschiedenen Umfangsgeschwindigkeiten begründet.

IV. Der Schiffskörper.

Es liegt auf der Hand, daß im Gegensatz zu den bisher behandelten grundlegenden Gebieten die Einzelheiten des Schiffskörpers und der Maschinenanlagen weniger direkte Vergleichspunkte bieten. Es sind nur noch Berührungspunkte, die aber immerhin dem Schiffbauer das Verständnis des Luftschiffbaues leicht machen, da es sich in beiden Gebieten um die Grundtatsache handelt, daß das Gewicht ausschlaggebend ist. Den weiteren Maßstab für das Verständnis gibt die oben betonte Grundgleichung, 1000 kg im Wasser = 1 kg in der Luft, was in gewissen Grenzen sowohl für die Gewichte als auch für die auftretenden Kräfte gilt.

1. Die Festigkeit des Schiffskörpers.

Der Schiffskörper muß imstande sein, die Form des Schiffes zu erhalten, alle Einzelkräfte und Einzelgewichte aufzunehmen und den Innendruck auszuhalten, den das direkt im Körper oder in besonderen Zellen untergebrachte Gas ausübt.

Bei den Prallluftschiffen muß die Hülle diese Aufgaben zusammen erfüllen. Der Druck des Innenraumes dient hier, wie bereits gesagt ist, direkt zur Formerhaltung und muß in seiner Grenze den längsschiffs auftretenden Biegemomenten angepaßt werden. Er muß so hoch sein, daß die durch ihn erzeugten Zugspannungen in der Hülle des Schiffes stets mit der nötigen Sicherheit größer sind als die Druckspannungen, die durch die Längsbiegemomente hervorgerufen werden können. Eine Verkleinerung dieser Biegemomente, eine Verteilung der an dem Schiff unten angreifenden Gewichte auf eine möglichst große Länge des Tragkörpers ist daher eine Grundbedingung des Prallluftschiffbaues. Es sind dafür verschiedene Lösungen möglich. Beim Parsevalschiff hängt die eine kurze Gondel sehr tief an Seilen, die sich möglichst weit nach vorn und hinten spreizen; bei einigen französischen Konstruktionen ist die Gondel so lang gemacht, daß ihre Befestigungstau fast auf der ganzen Länge angreifen; bei anderen, den sogenannten halbstarren Konstruktionen, ist zwischen Tragkörper und Gondel eine metallene Kielgerüstkonstruktion eingeschaltet, die entweder lose unter dem Schiff hängen oder fest mit ihm verbunden sein kann; beim Siemens-Schuckertschiff und seinen Nachfolgern ist ein Laufgang aus vertikalen Stoffbahnen unten befestigt, der einen großen Teil der Biegemomente aufnimmt.

Bei den Starrluftschiffen sind die Beanspruchungen aus dem Innendruck der Gaszellen und den Längsmomenten ganz getrennt. Das Verständnis für die ganze Bauweise wird erleichtert, wenn man bedenkt, daß es sich um sehr kleine Kräfte handelt und daß die Druckglieder des Gerüsts sehr lang sind, daß also der Druck stets zur Knickung wird. Die Zugglieder sind natürlich immer bester Stahldraht; etwas anderes kommt nicht in Frage. Für Knickbeanspruchung langer Träger, die nur kleine Kräfte aushalten müssen und möglichst leicht sein sollen, kommt es aber durchaus nicht so sehr auf die Druckfestigkeit des Materials an, sondern auf den Elastizitätsmodul und auf die Herstellung eines möglichst großen Trägheitsmomentes des Querschnittes. Daher ist die Verwendung unseres sonst besten und eigentlich einzig in Betracht kommenden Baumaterials, des Stahls, hier durchaus nicht von vornherein das Gegebene, und es scheint sogar, daß man mit Leichtmetallen und leichten Baustoffen wie Holz wesentlich besser fährt. Denn bei der Verwendung von Stahl kommt man, wenn man die nötige Leichtigkeit erzielen will, schließlich auf Verbände so geringer Materialdicken, daß dieselben aus praktischen Gründen unausführbar werden oder so leicht einbeulen, daß das theoretisch vorhandene Trägheitsmoment gegen Knickung tatsächlich nicht mehr wirksam werden kann. Ganz ähnliche Verhältnisse haben wir beim Bau kleiner Boote, bei denen ebenfalls das Holz aus ähnlichem Grunde den Vorzug behält.

Diese Überlegungen spielen sogar mehr als allgemein angenommen auch in die Bauweise der großen Schiffe hinein. Auch hier gibt es viele Stellen, an denen mit einer Verbesserung der Festigkeit des Materials allein nicht viel zu erreichen ist, da die Druckbeanspruchung sich hier in eine Beanspruchung der ebenen Platte auf Wellenbildung verwandelt hat, der die Knickerscheinung ganz ähnlich ist. Es ist daher ganz falsch, Materialien für den Luftschiffbau nur nach ihrer Festigkeit, nach ihrer Reißlänge zu beurteilen.

Auch im allgemeinen haben die Festigkeitsverhältnisse beider Fahrzeuge, wie von Flamm hervorgehoben, mancherlei Ähnlichkeit. Bei beiden ist die Festigkeit einwandfrei nur gewährleistet im Element und die gefährlichen Zustände treten beim Herausnehmen aus dem Element ein, d. h. beim Docken des Schiffes und beim Aufhängen des leeren Luftschiffes in der Halle. Beim Luftschiff muß immer, bei manchen Schiffstypen unter Umständen, die Art der Belastung vorsichtig den Deplacementsverhältnissen angepaßt werden. Beim Füllen der einzelnen Zellen eines starren Schiffes muß beispielsweise die Füllung und die Belastung des Luftschiffes genau Hand in Hand gehen, wenn man eine unzulässige Beanspruchung des Schiffes vermeiden will.

2. Die Unterteilung des Schiffskörpers.

Die Unterteilung des Schiffskörpers in gegeneinander abgedichtete Abteilungen spielt beim Luftschiff dieselbe Rolle wie beim Seeschiff. Sie ist bei den Prallluftschiffen nur teilweise durchgeführt, beispielsweise beim Siemens-Schuckertschiff, was einen großen Nachteil dieser Luftschiffsysteme bildet. Es sei nur an den Unfall der „République“ erinnert. Beim Starrluftschiff ist sie ohne weiteres gegeben. Die Querwände bilden hier ebenso wie beim Schiff ein Hauptmittel für die Herstellung der Querstabilität und das Leerlaufen einer Gaszelle, vergleichbar dem Vollaufen einer Abteilung im Schiff, bringt auch hier Beanspruchungen der Trennungswand hervor, die dem Druck auf ein wasserdichtes Schott ganz ähnlich sind.

Auf die Frage der konstruktiven Anordnung der einzelnen Teile, der Gondel, des Laufganges usw., kann hier nicht weiter eingegangen werden.

V. Die Maschinenanlage.

Hier sind direkte Vergleichspunkte und Stellen, an denen die eine Technik aus der anderen lernen könnte, wohl noch weniger vorhanden. Als einer der wenigen Punkte sei nur bemerkt, daß die Trennung in eine schnelllaufende Maschine und eine langsam laufende Schraube hier genau ebenso erwünscht ist wie heutzutage im

Schiffbau mit seinen schnellaufenden Turbinen. Während aber beim Schiffbau die Trennung schwierig ist, ist sie im Luftschiffbau mit seinen kleinen Kräften ohne weiteres durchzuführen und in der großen Mehrzahl der Fälle auch durchgeführt.

Sehr groß wird dagegen die Gleichheit der Entwicklung, wenn man betrachtet, wie die Gewichtsgestaltung der Maschinenanlage die Lebensfähigkeit beeinflusst. Wir haben Typen von Schiffen, die nur durch die Leichtigkeit der Maschinenanlage überhaupt denkbar sind, vor allem Torpedoboote und Motorboote. Im Luftschiffbau ist alles, ist die gesamte Entwicklung erst ermöglicht, sie ist geradezu geschaffen erst durch die Entwicklung des Maschinengewichtes. Ohne die Automobilindustrie, die aus den bis dahin wenig entwickelten und schweren Benzinmotoren in wenigen Jahren ein ausgezeichnetes, leichtes Maschinensystem gemacht hat, wären die Luftschiffe überhaupt undenkbar.

Den Vergleich noch weiter auszudehnen auf alle die einzelnen Punkte der Ausrüstung, Einzelheiten der konstruktiven Anordnung usw., in denen noch Beziehungen vorhanden sind, würde schließlich zu einer leeren Aufzählung führen. Es sei nur noch darauf hingewiesen, daß auch in der Handhabung und Führung naturgemäß dieselben Beziehungen bestehen und daß in vieler Hinsicht Navigation und seemännische Führung von Luftschiffen und Seeschiffen sich sehr ähnlich sind. Die Hauptabweichungen liegen in der bei Luftschiffen hinzutretenden Höhenavigation mit ihren Folgen und in den Eigentümlichkeiten des Luftmediums, vor allem in meteorologischer Beziehung.

Die Grundtatsache aber, daß Luftschiffbau und Seeschiffbau zwei ganz ähnliche Gebiete sind, daß die wissenschaftliche Durchdringung bei vielen der grundlegenden Fragen für beide Gebiete dieselben Wege gehen kann und zahlreiche Anregungen aus dem einen Gebiet ins andere hinübergehen, dürfte aus den Darlegungen hervorgehen. Vielleicht tragen sie dazu bei, die Fühlung der Forscher beider Gebiete noch enger zu gestalten, als sie heute ist.
