

Probleme der Flugzeuggestaltung

Von Dr. A. LIPPISCH, Augsburg *)

Lassen Sie mich beginnen mit einigen Aufzeichnungen *Leonardo da Vincis*, des großen Forschers und Künstlers der Renaissance aus der Zeit um das Jahr 1500:

„Der künstliche Vogel ist ein nach mathematischen Gesetzen arbeitendes Werkzeug. Diesem Werkzeug vermag wohl der Mensch alle möglichen Bewegungen zu verleihen, nicht aber eine ebenso große Fähigkeit, wie der natürliche Vogel sie besitzt.

Aber das bezieht sich nur auf die Fähigkeit, das Gleichgewicht zu halten. Daher möchte ich behaupten, daß diesem durch den Menschen gebauten Fluggerät nur die Seele des Vogels fehlt, und diese Seele soll durch den Geist des Menschen ersetzt werden.

Das natürliche Gefühl, das alle Glieder des Vogels durchdringt, wird den Bedürfnissen derselben zweifellos besser entsprechen als die von den Gliedern des Fluggerätes getrennten Sinne des Menschen, insbesondere bei den fast unmerklichen Schwankungen der Flugbewegung.

Da wir jedoch sehen, wie der Vogel für viele wahrnehmbare Bewegungen verschiedener Art sorgt, so können wir aus solcher Erfahrung dahin urteilen, daß die deutlich wahrnehmbaren Bewegungen durch den Menschen erkannt werden können und daß er sehr wohl imstande sein wird, den Absturz des Fluggerätes zu verhüten, dessen Seele und Lenker er geworden ist. . . .

Durch das Fluggerät wird auf die Luft ein ebenso großer Druck ausgeübt, wie ihn die Luft auf das Gerät ausübt. Du siehst doch, wie die gegen die Luft prallenden Flügel den schweren Adler in der außerordentlich dünnen Atmosphäre halten. Du siehst auch, wie die bewegte Luft über dem Meer, wenn sie von den geblähten Segeln zurückgeworfen wird, das schwerbeladene Schiff dahineilen läßt.

So kannst du aus diesen hier angeführten Beweisgründen erkennen, daß auch der Mensch imstande sein wird, die widerstrebende Luft zu bezwingen, indem er mit seinen kunstvoll angefügten großen Flügeln einen Druck auf sie ausübt und sie überwindet, so daß er sich sogar über sie zu erheben vermag.“

Diese Aufzeichnungen *Leonardo da Vincis* zeigen erstmalig in der Geschichte der Flugforschung einen Menschen, der seiner Zeit weit vorausseilend, das Flugproblem durch wissenschaftliche Erkenntnis zur Lösung zu bringen suchte.

Mehr als 400 Jahre hat es gedauert, bis die Prophezeiung dieses großen Forschers Wahrheit wurde:

„Der große Vogel wird seinen ersten Flug von dem Rücken eines hohen Berges unternehmen. Er wird die ganze Welt mit Stämmen und alle Schriften mit seinem Ruhm erfüllen.“

Erst im Jahre 1921 gelang von dem Rücken der Wasserkuppe in der Rhön der erste Flug des „Vampyr“, jenes großen Vogels als ein nach mathematischen Gesetzen arbeitendes Werkzeug des Menschen, dessen Seele und Lenker er geworden war.

Der erste Mensch, der sich mit einem vogellügelartigen Gerät in die Lüfte erhob, war der deutsche Ingenieur *Otto Lilienthal*, und es ist erstaunlich zu sehen, wie selbst am Ende des 19. Jahrhunderts, nachdem die Naturwissenschaften einen ungeahnten Aufstieg genommen hatten, die Fachwelt diesem Pionier des Flugwesens verständnislos gegenüberstand. Hatte doch niemand Geringeres als *Helmholtz* auf Grund seiner Theorie von den Unstetigkeitsflächen bewiesen, daß die zum Fliegen notwendige Leistung sehr groß sein müsse, so daß es dem Menschen niemals möglich sein würde, das Vorbild der Natur nachzuahmen.

Die Aussagen von *Helmholtz* stützten sich auf theoretische Erkenntnisse, während der Ingenieur *Lilienthal* Luftkraftmessungen an Modellflügeln seinen Berechnungen über die notwendige Flugleistung zugrunde legte.

„Der Vogelflug ist die Grundlage der Fliegekunst“, das war *Lilienthals* Fundamentalsatz, und aus der Beobachtung des lebendigen Vorbildes schöpft er seine Erkenntnisse. Hier berühren sich der Renaissance-Forscher *Leonardo* und der Ingenieur *Otto Lilienthal* in ihren grundlegenden Gedanken und der Erfüller der Ahnungen *Leonardos* wird gleichzeitig der Vorläufer eines neuen Zeitalters des Flugwesens.

Lilienthal war wie *Leonardo* der Ansicht, daß es dem Menschen aus eigener Kraft möglich sein müsse, dem Vogel gleich zu fliegen. Dieser Gedanke hat ihn bis zu seinem Fliegertode beseelt, ohne daß es ihm gelang, die Idee zu

*) Nach einem Vortrag vor der *Lilienthal-Gesellschaft in Heidelberg*.

verwirklichen. Ob es je gelingen wird, aus eigener Kraft zu fliegen, will ich hier nicht näher untersuchen. Nach dem Stande unseres heutigen Wissens erscheint dies unmöglich, aber noch ist die Flugwissenschaft jung und neue Erkenntnisse mögen alte Theorien umgestalten.

Die Nachfolger *Lilienthals* haben dann auch seinen Lieblingsgedanken beiseitegelassen und dort weitergearbeitet, wo er den ersten Grundstein zu der modernen Entwicklung des Flugwesens gelegt hatte.

Was war denn diese Fundamentalerkenntnis *Lilienthals*? Lassen wir auch hier *Lilienthal* selbst sprechen:

„Alles Fliegen beruht auf Erzeugung von Luftwiderstand, alle Flugarbeit besteht im Überwinden von Luftwiderstand. Somit bilden die Gesetze des Luftwiderstandes die Fundamente der Flugtechnik. Wie kann aber die Erforschung der Gesetze des Luftwiderstandes, überhaupt das Kennenlernen derjenigen Eigenschaften unserer Atmosphäre, welche mit Vorteil zum Heben eines frei fliegenden Körpers ausgenutzt werden können, vor sich gehen? Die einfache theoretische Überlegung kann hier nur Vermutungen hervorrufen, aber keine Tatsachen feststellen. Der einfache praktische Versuch kann wohl positive Resultate zutage fördern, aber der weitere Ausbau zu einer umfassenden Erkenntnis wird dennoch wiederum auch eingehende theoretische Überlegung nötig machen, und so ist nur denkbar, daß das rechte Licht über dieses noch so dunkle Forschungsgebiet verbreitet wird, wenn Theorie und Praxis erfolgreich Hand in Hand gehen....“

Es kommt aber darauf an, Flügelformen zu finden, welche, in einer gewissen Lage unter möglichst spitzem Winkel zum Horizont bewegt, eine möglichst große hebeude, das Gewicht tragende und eine möglichst kleine, die Fluggeschwindigkeit wenig hemmende Luftwiderstandskomponente geben....“

Unser Streben muß demnach darauf gerichtet sein, alle Stoßwirkungen und Wirbelbildungen beim Vorwärtsfliegen nach Möglichkeit zu vermeiden; dies aber zu erreichen, ist die ebene Flügelform durchaus ungeeignet. Es läßt sich vielmehr ganz allgemein folgern, daß man mit der Luft, die beim Fliegen vorteilhaft tragen soll, meistens zu roh umgegangen ist. Die Luft, welche uns bei geringstem Aufwand von mechanischer Arbeit tragen soll, darf nicht durch ebene Flächen zerrissen, geknickt und gebrochen, dieselbe muß vielmehr durch richtig gewölbte Flächen gebogen und sanft aus ihren Lagen und Richtungen abgelenkt werden....“

Als *Lilienthal* 1871 aus dem Feldzug zurückkommt, beginnt er, unterstützt von seinem Bruder, mit systematischen Versuchen zur Bestimmung des Luftwiderstandes von vogel- flügelartigen Körpern. Als Meßgerät dient anfangs ein Rundlauf, an dem sowohl die Widerstands- als auch die Auftriebskomponente der Luftkräfte gemessen werden können.

Hiermit stellt *Lilienthal* fest, daß die von ihm experimentell bestimmten Luftkräfte nicht mit den theoretischen Angaben übereinstimmen. Vielmehr zeigen die schwach gewölbten Flächen Eigenschaften, die bisher völlig unbekannt waren, und aus denen *Lilienthal* eindeutig beweisen kann, daß die zum Fliegen notwendige Leistung wesentlich kleiner sein muß, als nach den Angaben der damals gültigen Theorie.

In späteren Jahren (1888) macht *Lilienthal* seine Luftkraftmessungen im freien Wind, wobei er feststellt, daß die im Winde gemessenen Werte noch wesentlich günstiger liegen, als die Meßwerte nach dem Rundlaufverfahren. Vergleicht man diese Messungen mit den Werten, wie wir sie heute aus Windkanalmessungen vorliegen haben, so besteht trotz der einfachen Anordnung *Lilienthals* eine gute Übereinstimmung zwischen diesen Ergebnissen. Am neuartigsten war hierbei die Erkenntnis, daß der gewölbte Flügel in seiner Sehnenrichtung angeblasen, bereits einen kräftigen Auftrieb liefert. Hierbei konnte also eine Druckwirkung des Luftstroms auf die Unterseite gar nicht stattfinden und jede Erklärung des Auftriebs durch die damals gültige Theorie mußte völlig versagen. *Lilienthal* selbst gibt hierzu eine durchaus richtige Erklärung, wenn er sagt:

„Diese krummlinige Bewegung der Luftteilchen entspricht aber einer ganz bestimmten Zentrifugalkraft, mit welcher diejenigen Teile der Luft, welche unter der Fläche hindurchgehen von unten auf die Fläche drücken, während diejenigen, welche über die Fläche hinweggleiten, sich von der Fläche zu entfernen streben und eine ebenfalls nach oben gerichtete Saugwirkung hervorrufen....“

Während nun die ebene Fläche viele Wirbelbewegungen veranlaßt mit geringeren vertikalen Bewegungsbestandteilen, wird die entsprechend gewölbte Fläche eine vertikal-oszillatorische Wellenbewegung in der Luft hervorrufen, mit möglichst großer vertikaler Bewegungskomponente. Der nach unten gerichtete Bestandteil der lebendigen Kraft der Luftteilchen nach Verlassen der Fläche ist maßgebend für den nach oben gerichteten, auf die Fläche ausgeübten Druck. Die Luft verläßt aber die gewölbte Fläche in möglichst geordneter Masse und wird vermöge der ihr erteilten größeren, nach unten gerichteten lebendigen Kraft noch viel weiter nach unten gehen.

Mit der Vollkommenheit dieser Wellenbewegung wird die Hebewirkung in direktem Verhältnis stehen und je reiner diese Wellenbewegung an vertikalen Schwingungen ist, desto vollkommener wird die reine Hebewirkung auf die wellenerzeugende gekrümmte Fläche sein, indem der größten Aktion auch die größte Reaktion entspricht.“

Nach *Lilienthal* entsteht also der dynamische Auftrieb durch eine vom Flügel hervorgerufene Wellenbewegung der

Luft. Eine solche Bewegung kann zusammengesetzt werden aus einer geradlinigen Bewegung, der man eine Drehung überlagert. Aus Translation mit überlagerter Zirkulation entsteht der dynamische Auftrieb. Es heißt viele Entwicklungsjahre der Flugtechnik überspringen, wenn wir diese Erkenntnis an die *Lilienthalschen* Worte anfügen. Aber wie leicht wäre es dem wissenschaftlich Denkenden gewesen, dem experimentellen Nachweis *Lilienthals* die theoretisch richtige Deutung zu geben. Um so erstaunlicher ist es dann feststellen zu müssen, daß das im Jahre 1890 erschienene Buch *Lilienthals*, „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst“, in dem die hier angeführten Ausführungen enthalten sind, und in dem auch alle wesentlichen Messungsergebnisse veröffentlicht waren, keine Beachtung bei der deutschen Wissenschaft gefunden hat, und daß es dem Ausland, vor allem den Franzosen und den Amerikanern überlassen blieb, das Werk des Deutschen *Lilienthal* weiterzuführen.

Lilienthal hatte sich ja nicht damit begnügt, die Gesetze des Luftwiderstandes experimentell zu erforschen, sondern er hatte auf Grund seiner Erkenntnisse bemannte Gleitflugzeuge gebaut und selbst erprobt. Es gelangen ihm damit Flüge von etwa 1 Minute Dauer bei Flugweiten von 300 bis 400 m. Die Steuerung wurde durch Körpergewichtsverlegung des Führers hervorgerufen und verlangte von diesem eine große Geschicklichkeit, vor allem, wenn die Flüge bei böigem Wetter ausgeführt werden sollten.

Diese Methode, mit Hilfe des motorlosen Flugzeugs praktische Erfahrungen im Fluge zu sammeln und die Entwicklung dadurch weiter zu fördern, ist nach dem Vorbild *Lilienthals* weiter ausgebaut worden und führte schließlich zur Schaffung des ersten flugfähigen Motorflugzeugs der Gebrüder Wilbur und Orville Wright. Die Gestaltung des Flugzeugs war bei *Lilienthal* noch sehr stark dem Vorbild des Vogels entlehnt. Allerdings schuf *Lilienthal* bereits den Doppeldecker, um ohne Vergrößerung der Spannweite die Tragfähigkeit bei möglichst geringem Gewichtsaufwand zu erhöhen. Die Flügelkonstruktion *Lilienthals* entspricht jedoch durchaus dem natürlichen Vorbild, was z. T. auch darauf zurückzuführen ist, daß er seine Gleitflugzeuge zusammenlegbar konstruieren mußte, um den Transport einfach zu gestalten.

Die Gleitflugzeuge, die die Amerikaner *Chanute* und *Wright* verwendeten, zeigten in bezug auf den konstruktiven Aufbau eine grundsätzlich andere Gestaltung, wobei die Erfahrungen, die *Hargrave* beim Bau großer Drachen für meteorologische Zwecke gemacht hatte, der Ausgangspunkt dieser neuen Bauweise war.

Es handelte sich hierbei um Doppeldeckerbauweisen, wobei die Tragdecks durch ein System von senkrechten Stützen und diagonal gespannten Drähten verbunden waren. Die Flügelkonstruktion selber bestand aus zahlreichen in Flugrichtung angeordneten gewölbten Rippen, die durch zwei senkrecht zur Flugrichtung angeordnete Längsholme verbunden waren. Dieser einfache, technisch zweckmäßige Aufbau des Tragwerks hat sich dann jahrzehntelang erhalten, bis der freitragende Eindecker von *Junkers* die Doppeldeckerbauweise ablöste.

Der grundsätzlich neuartige Gedanke, den die *Wrights* in das Flugwesen einbrachten, bestand in erster Linie darin, die Steuerung des Flugzeugs nicht mehr wie bei *Lilienthal* durch Gewichtsverlegung hervorzurufen, sondern vom Führer durch Handhebel betätigte Steuerorgane vorzuziehen.

Insbesondere war es hier die Quersteuerung der Gebrüder *Wright*, die völlig neuartig war und deren Erfindung die Möglichkeit sicher zu fliegen überhaupt erst gewährleistete. Diese Quersteuerung bestand darin, die beiden Tragflügel gegeneinander zu verwinden, d. h. der einen Flügelseite einen anderen Einstellwinkel zu geben als der anderen. Diese Flächenverwindung kuppelte *Wright* gleichzeitig mit einer entsprechenden Verstellung des Seitenruders. Dadurch gelang es, die Wendigkeit des Flugzeugs wesentlich zu erhöhen und die Steuerfähigkeit des Apparates auch bei böigem Wind sicherzustellen. Das Flugzeug der *Wrights* besaß also drei getrennte Steuerorgane, die Höhensteuerung, die Seitensteuerung und die Quersteuerung. Alle Entwicklung der Folgezeit geht letzten Endes auf diese Steuerungsart zurück, und es bedurfte dann nur noch der Schaffung eines leichten Motors,

um in Verbindung mit dem Luftschraubenantrieb aus dem Gleitflugzeug ein Motorflugzeug zu machen. Die Höhensteuerung des *Wright'schen* Flugzeugs wurde durch einen vor dem Flügel angeordneten Hilfsflügel bewirkt. Diese sogenannte Entenbauweise hat sich jedoch nicht durchgesetzt, und alle späteren Bauweisen entsprachen der heute üblichen Normalform, bei der Höhen- und Seitenleitwerk hinter dem Tragflügel angeordnet werden.

Neben ihren erfolgreichen Flugversuchen haben die Gebrüder *Wright* auch die Methode der *Lilienthalschen* Modellmessung fortgesetzt. Um von dem un stetigen Windstrom der Natur unabhängig zu werden, schufen sie sich einen künstlichen Windstrom und bauten einen kleinen Windkanal, in dem sie die von ihnen gewählten Flügelprofile durch Modellmessung erprobten. Diese Windkanalmessung ist dann die klassische Methode zur Erforschung der Luftwiderstandsgesetze geworden. Größere Windstromanlagen erbaute der Franzose *Eiffel*, und durch die Erfolge des Auslandes angeregt, entstand schließlich auch in Deutschland die von Prof. *Prandtl* ins Leben gerufene Modellversuchsanstalt Göttingen, in der neben den experimentellen Arbeiten die Grundlagen für die theoretische Behandlung des Flugproblems gelegt wurden.

Die äußere Gestalt des Flugzeugs war aus den Arbeiten der Ingenieure und Techniker auf dem Wege über das Experiment geschaffen worden. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse, die sich an diese Experimente knüpften, blieben lange Zeit ohne direkten Einfluß auf die Gestaltung des Flugzeugs.

In erster Linie mußte hier die Frage beantwortet werden, wie das Zustandekommen des dynamischen Auftriebs erklärt werden könne.

Das Verdienst, die Zirkulation um das Tragflügelprofil als die Ursache des dynamischen Auftriebes erkannt zu haben, gebührt dem Engländer *F. W. Lanchester*, der in einem Vortrag auf der Jahresversammlung der Gesellschaft für Naturwissenschaft und Philosophie zu Birmingham am 19. Juni 1894 einen Überblick über die von ihm entwickelte Theorie der Tragflügelströmung gegeben hat. Allerdings wurde ein ausführlicher Bericht über diese Theorie, der der Physikalischen Gesellschaft in London angeboten wurde, im Jahre 1897 abgelehnt. *Lanchester* veröffentlichte seine Gedanken und Untersuchungen in dem Buch *Aerodynamik* im Jahre 1907, dem sehr bald eine deutsche Übersetzung von *Runge* (Göttingen) folgte. *Runge* sagt hierüber in seiner Vorrede: „Für die Gelehrten liegt der Hauptreiz des Buches in den Ideen über Flüssigkeitsreibung, die in klarer mathematischer Formulierung herauszuarbeiten die nächste Aufgabe der Hydrodynamik sein dürfte.“ Diese Gedanken über die Flüssigkeitsreibung waren in Deutschland durch *L. Prandtl* Gegenstand eingehender Untersuchungen geworden, und bereits im Jahre 1904 hatte *Prandtl* auf dem Mathematikerkongreß in Heidelberg die Grundlagen der von ihm entwickelten Grenzschichttheorie vorgetragen. Damit war die Möglichkeit gegeben, die klassische hydrodynamische Theorie, die von *Euler* und *Kirchhoff* begründet wurde, zur Erklärung der beobachteten Strömungserscheinungen heranzuziehen, da außerhalb der an der Körperoberfläche haftenden Grenzschicht die Flüssigkeitsbewegung als die Bewegung eines reibungslosen, inkompressiblen Mediums angesehen werden konnte.

Daß die Zirkulation um den Tragflügel als Ursache des Auftriebs anzusehen war, stand fest. Aber diese Zirkulation mußte zu Beginn dieses Strömungsvorganges entstehen. Die klassische hydrodynamische Theorie lieferte auf Grund der Voraussetzung der Reibungslosigkeit keine Handhabe, die Entstehung der Zirkulation zu erklären. Erst die Grenzschichttheorie *Prandtl's* und die daraus abgeleitete Betrachtung des sogenannten Anfangsvorganges gab den Schlüssel zur Behandlung dieses Problems.

Allerdings galt es dann noch, eine Reihe von Schwierigkeiten zu überwinden, um aus der bekannten Zirkulationsströmung um den Kreiszyylinder die Strömung um ein tragflügelprofilartiges Gebilde abzuleiten. Durch Anwendung der Theorie von der konformen Abbildung gelang es *Kutta*, erstmalig die Strömung um ein dünnes gewölbtes Tragflügelprofil mathematisch zu behandeln, während der Russe *Joukowski* mit der gleichen Methode die Berechnung beliebiger dicker gewölbter Tragflügelprofile zur Durchführung brachte. Hiermit war ein wesentlicher Schritt zur theoretischen Behandlung des Flugproblems geleistet, denn damit konnten

die Auftriebskräfte und die Drehmomente eines unendlich langen zylindrischen Flügels vorausberechnet werden. Es zeigte sich auch, daß diese Rechnungen mit den aus dem Windkanal gewonnenen experimentellen Ergebnissen in guter Übereinstimmung waren.

Die ingenieurmäßig arbeitende Flugzeugentwicklung hat diesen theoretischen Forschungsergebnissen lange Zeit verständnislos gegenübergestanden. Man stützte sich in erster Linie auf den Windkanalversuch, und erst der Segelflugbewegung war es vorbehalten, Flugzeuge mit *Joukovsky*-Profilen auszurüsten.

Die äußere Gestaltung des Flugzeugs wurde in den Jahren bis in den ersten Weltkrieg hinein in erster Linie auf Erfahrungstatsachen aufgebaut, die durch die praktischen Flugversuche gegeben waren. Im wesentlichen waren es hier die französischen Flugtechniker, die in dem Gedanken der Verwendung des Flugzeugs als Kriegsmittel, die äußere Form des Flugzeugs weiter entwickelten und gleichzeitig geeignete Leichtmotoren schufen, die zum Flugzeugantrieb verwendet werden konnten. Deshalb lehnen sich auch die meisten erfolgreichen deutschen Flugzeugkonstruktionen der Vorkriegszeit an die französischen Vorbilder an. Nur *Hans Grade* und *Ego Etlich* gehen mit ihren Eindeckerkonstruktionen eigene Wege, wobei besonders die von letzterem entwickelte *Etlich-Taube* dem deutschen Flugwesen einen starken Aufschwung verleiht. In der Folgezeit hat sich die Taubenform gegenüber der Doppeldeckerbauweise nicht durchgesetzt, da die Wendigkeit und die Sichtverhältnisse nicht ausreichten.

Bemerkenswert ist es, daß *Etlich* ursprünglich nach dem Vorbild des *Zanoniassamens* ein schwanzloses Gleitflugzeug erbaute und damit im Jahre 1907 erfolgreiche Gleitflüge ausführte. Der Schritt zum Motorflugzeug brachte jedoch nicht den gewünschten Erfolg, so daß sich *Etlich* entschloß, die schwanzlose Bauweise zugunsten der Normalform aufzugeben.

Die Erhöhung der Motorleistung und zahlreiche konstruktive Verbesserungen brachten dem Flugzeugbau immer größere Erfolge, wobei jedoch eine grundsätzliche Neugestaltung der Flugzeugzelle nicht zu bemerken ist. Die erreichten Geschwindigkeitssteigerungen gehen im wesentlichen zugunsten der erhöhten Motorleistung. Der Krieg mit seinen gesteigerten Ansprüchen an die zeitlich schnelle Fertigung von Flugzeugen verhindert an vielen Stellen eine besonnene Entwicklung.

Es ist bemerkenswert, daß die auf das rein Militärische gerichtete Flugzeugentwicklung keinen wirklichen neuen Gestaltungsgedanken hervorbringen konnte, sondern daß es dem bisher auf dem Gebiete der Wärmetechnik und des Motorenbaues tätigen Prof. *Junkers*, der damals an der Technischen Hochschule in Aachen lehrte, vorbehalten blieb, der flugtechnischen Entwicklung neue Wege zu eröffnen.

Junkers ging hierbei einen völlig eigenen Weg und kümmerte sich nicht darum, was im Flugzeugbau zur Zeit gebräuchlich war und welche Erfahrungen man bisher gesammelt hatte. Seine Erwägungen gingen davon aus, daß das Flugzeug letzten Endes ein Verkehrsmittel ist und als solches in Richtung auf Wirtschaftlichkeit gestaltet werden muß. Um aber wirtschaftlich zu sein, muß das Flugzeug so konstruiert werden, daß man große Räume zur Unterbringung von Personen und Nutzlasten zur Verfügung hat. Sind diese Räume vorgegeben, so muß man sie durch eine aerodynamisch möglichst günstige äußere Form umschließen und einen flugfähigen Körper schaffen, der bei gegebenem Inhalt zu Geringstmaß an Widerstand erfährt. So beginnt *Junkers* seine Arbeiten nicht mit dem Bau irgendeines Versuchsflugzeugs, sondern mit der Niederlegung seiner Gedanken über die Flugzeuggestaltung in dem Entwurf einer Patentschrift, die er am 1. Februar 1910 einreicht. Es ist dies die berühmte Patentschrift über das *Nurflügelflugzeug*. Dieses Flugzeug mit dicken freitragenden Flügeln mußte aus einem neuen Werkstoff, wie ihn der Flugzeugbau bisher nicht verwendete, hergestellt werden. Die äußere tragende Haut mußte in Metall ausgeführt werden, und damit bedeutete die Entwicklung dieses Flugzeugs nicht nur die Schaffung einer neuen aerodynamisch günstigen Form, sondern auch die Entwicklung einer völlig anders gearteten Konstruktionsweise, beides Aufgaben, an die damals außerhalb des Mitarbeiterkreises von Prof. *Junkers* wohl niemand in der ganzen Welt dachte.

In einem eigenen Windkanal untersuchte *Junkers* die Eignung dicker Tragflügelprofile und stellte fest, daß ent-

gegen den damals üblichen Anschauungen das dicke Tragflügelprofil dem dünnen Flügelschnitt überlegen war. Er urteilte allerdings hierbei nicht nach rein aerodynamischen Gesichtspunkten, sondern berücksichtigte ebenfalls die konstruktiven Belange, denn der dünne Flügelschnitt konnte ja nicht selbsttragend gebaut werden, sondern ein solcher Flügel mußte verspannt oder verstrebt werden, so daß sein Widerstand tatsächlich größer ausfiel, als der Widerstand eines dicken, freitragenden Flügels. Eine einseitige rein aerodynamische Beurteilung konnte dem sich hier stellenden flugtechnischen Gesamtproblem nicht gerecht werden, und so konnte nur eine Persönlichkeit wie *Junkers*, der dieses Problem als Ganzes erfaßte, die Neugestaltung des Flugzeugs in die Wege leiten. Der universell denkende schöpferische Mensch überflügelte die Spezialisten seiner Zeit um Jahrzehnte.

Die Flugzeugfabrik, die sich *Junkers* dann unter Überwindung vieler Schwierigkeiten zur Schaffung seiner Ganzmetallflugzeuge erbaute, glied mehr einer Forschungsanstalt als einem Flugzeugbau. Er erkannte wohl als erster, daß der Flugzeugbau in Zukunft nur dann lebensfähig ist, wenn er seine Entwicklungsrichtung durch wissenschaftliche Forschungsarbeiten auf allen Gebieten vorbereitet. Die Verbindung zwischen Wissenschaft und Technik, die im Flugzeugbau oft auf beträchtliche Schwierigkeiten stößt, wurde von *Junkers* als eine Notwendigkeit angesehen, und er hat die größten finanziellen Schwierigkeiten nicht gescheut, um dieser Idee treu zu bleiben.

Die vollkommene Verwirklichung des Nurflügelflugzeugs hat *Junkers* nicht mehr erlebt, und auch heute noch sind die Ansichten über die Ausführbarkeit dieses Gedankens sehr geteilt. Dieses Nurflügelflugzeug mußte ja letzten Endes ein schwanzloses Flugzeug werden. Da jedoch die Erfahrungen bisher gezeigt hatten, daß ein solches schwanzloses Flugzeug mangelhafte Flugeigenschaften aufwies, sich also nicht mit genügender Sicherheit steuern ließ, kam *Junkers* selbst in den späteren Jahren von diesem Gedanken ab. Inzwischen ist es allerdings meinen Mitarbeitern und mir gelungen, dieses Flugeigenschaftsproblem befriedigend zu lösen.

Die zukünftige Entwicklung des Flugzeugbaues wird den Beweis für die Richtigkeit dieses Gedankens zu erbringen haben. Es ist müßig, sich hier in Prophezeiungen zu verlieren.

Die rapide Steigerung der Fluggeschwindigkeiten hat andere Probleme des Flugzeugbaues auf den Plan gebracht, und so stehen wir heute an einem neuen Wendepunkt der Flugzeugentwicklung und wissen noch nicht, wie die endgültige Lösung dieser modernsten Probleme des Flugzeugbaus aussehen wird.

Schließlich muß man berücksichtigen, daß der Versailler Vertrag den deutschen Flugzeugbau bis zur Untätigkeit fesselte, so daß auch *Junkers* nicht in der Lage war, seine weitspannenden Gedanken zu verwirklichen. Trotzdem schuf *Junkers* in seiner berühmten F 13 das erste brauchbare Verkehrsflugzeug, und der von ihm gewählte freitragende Tiefdecker ist heute noch die Standardbauweise der ganzen Welt.

Dieser Aufbau entstand wiederum aus dem Gedanken der Wirtschaftlichkeit und der Sicherheit. Der Tragflügel war das Rückgrat dieses Flugzeugs, an dessen Oberseite der Rumpf und an der Unterseite das Fahrwerk angebracht wurde.

Der hoch beanspruchte Festigkeitsverband des Mittelflügels lief unter dem Rumpf durch, bildete sozusagen das Chassis des Flugzeugs und war im Falle einer Notlandung gleichzeitig Stoßfänger der größten Beanspruchungen. Der über dem Flügel angeordnete Rumpf gestattete die Anbringung einer über und vor dem Tragflügel arbeitenden Luftschraube, woraus sich ebenfalls eine günstige Zusammenwirkung von Tragflügel und Luftschraube ergab.

So war diese neue Flugzeugbauart in vieler Beziehung ein bedeutender Fortschritt, und es konnte nicht ausbleiben, daß dieser neue Weg im In- und Ausland sehr bald Nachahmungen ins Leben rief.

Aber noch eine andere fundamentale Erkenntnis wurde in den Jahren des ersten Weltkrieges gewonnen und befruchtete, von Deutschland ausstrahlend, die Flugwissenschaft der ganzen Welt.

Die Zirkulationstheorie hat die sogenannte zweidimensionale Strömung um das Tragflügelprofil der theoretischen Behandlung zugänglich gemacht.

Wie gestaltete sich nun aber die Strömung um einen Tragflügel mit begrenzter Spannweite?

Diese Frage wurde durch die von L. Prandtl und seinen Schülern entwickelte Tragflügeltheorie erschöpfend beantwortet und bildet seitdem einen Grundstein der aerodynamischen Wissenschaft.

Man kann bei der Betrachtung des Strömungsvorganges um einen Tragflügel mit endlicher Spannweite davon ausgehen, daß der durch die Auftriebsströmung hervorgerufene Druckunterschied auf der Flügelober- und -unterseite eine Ausgleichsströmung, die im wesentlichen senkrecht zur Anströmungsrichtung verläuft, hervorrufen muß. Die Luftmassen aus dem Überdruckgebiet auf der Flügelunterseite werden, in Richtung der Spannweite strömend, um den seitlichen Flügelrand herum das Unterdruckgebiet auf der Flügeloberseite aufzufüllen suchen.

Diese Umströmung der Flügelränder ruft die Bildung zweier von den Tragflügelrändern ausgehender Wirbelzöpfe hervor, die sich nach hinten ins Unendliche erstrecken. Die Bildung dieser beiden Randwirbelzöpfe erfordert eine bestimmte Flugarbeit, die gegen den sogenannten induzierten Widerstand gelistet werden muß. Man kann nämlich zeigen, daß die Randwirbel eine abwärtsgerichtete Strömungskomponente an Orte des Tragflügels hervorrufen, so daß der Tragflügel eine von vorne und oben kommende Anströmung erfährt. Die Auftriebskomponente, die auf der wahren Anströmungsrichtung senkrecht steht, ist deshalb nach hinten geneigt, so daß in Flugrichtung betrachtet außer dem Auftrieb der durch die Abwärtsbewegung induzierte Widerstand entsteht. Eine nähere Untersuchung zeigt weiterhin, daß die nach hinten wegschwimmenden freien Wirbel nicht nur am Flügelrand entstehen, sondern daß der Auftriebsabfall nach den Flügelenden zu eine ganze Wirbelfläche längs der Spannweite hervorruft, die sich schließlich zu den beiden Wirbelzöpfen auflöst. Die mathematische Behandlung dieses Problems gestattet es nun, diejenige Auftriebsverteilung längs der Spannweite zu suchen, die den geringsten induzierten Widerstand liefert. Es ist dies, wie Prandtl gezeigt hat, die elliptische Auftriebsverteilung. Aber auch jede andere Form der Flügelgestalt durch Umriß und Anstellwinkelverteilung gegeben, läßt sich in bezug auf den induzierten Widerstand berechnen. Von besonderer Bedeutung ist die grundsätzliche Aussage der Tragflügeltheorie dahingehend, daß die Flugarbeit gegen den induzierten Widerstand um so kleiner wird, wenn das vom Flügel getragene Gewicht, also der vom Flügel erzeugte Auftrieb, über eine möglichst große Spannweite verteilt wird.

Außerdem gestattet die Tragflügeltheorie die Umrechnung von Messungsergebnissen an Flügeln bestimmter Spannweite und Tiefe auf einen Flügel mit gleichem Profil aber geändertem Seitenverhältnis. Erst dadurch war es überhaupt möglich, in den Messungsergebnissen die aerodynamischen Eigenschaften der Profildorm vom Flügelumriß unabhängig zu bestimmen. Man konnte die Messungsergebnisse in bezug auf den Widerstand und den Anstellwinkel aufspalten und die Auftriebs- und Widerstandsbeiwerte für den unendlich langen Flügel, d. h. für die zweidimensionale Strömung feststellen.

Der Einfluß der Flügelgestalt war somit dem Flugzeugbauer durch Anwendung der Tragflügeltheorie rechnerisch erfassbar geworden, und man war nunmehr instande, die aerodynamischen Eigenschaften des Flugzeugs mit verschiedenartigen Flügeln voranzubestimmen. Es eröffnete sich ein neues weites Feld für die Bearbeitung zahlreicher Aufgaben zur Bestimmung günstiger Flugzeugbauweisen. Die auf Grund der Tragflügeltheorie günstige Vergrößerung der Flügelspannweite bedeutet konstruktiv eine Erhöhung des Fluggewichtes, weil in erster Linie der Flügel ein höheres Bangewicht erfordert. Während also die Verringerung des induzierten Widerstandes eine Verbesserung der Flugleistungen gewährleistet, wird das vergrößerte Baugewicht auf der anderen Seite die Flugleistung wiederum vermindern. Es ist die Aufgabe einer Variationsrechnung, unter Berücksichtigung der aerodynamischen und konstruktiven Faktoren die günstigste Spannweite oder überhaupt die beste Flügelgestalt zu bestimmen. Dabei spielen Betrachtungen über die Steuerfähigkeit des Flugzeugs auf Grund verschiedener Flügelgestalten ebenfalls eine gewichtige Rolle. Sie werden verstehen, daß dieses Problem niemals allgemein gelöst werden kann, sondern daß es von Fall zu Fall einer speziellen Untersuchung bedarf, um Bestwerte für einen be-

stimmten Flugzeugentwurf zu finden. Ohne die Tragflügeltheorie von L. Prandtl wären all diese Betrachtungen nicht möglich, ja, wir wären nicht einmal in der Lage, die für die Festigkeitsberechnung des Flügels so notwendige Kenntnis der Lastverteilung vorausberechnen zu können.

Der Kriegsluftzeugbau des Weltkrieges hat aus der Prandtl'schen Tragflügeltheorie noch kaum einen Nutzen gezogen. Erst die Probleme des Segelfluges, die die deutsche fliegerische Jugend aus der Not der Nachkriegszeit in Angriff nahm, brachten die folgerichtige Anwendung der Tragflügeltheorie, denn es mußte ein motorloses Flugzeug geschaffen werden, welches ein Minimum an Flugarbeit zum Schweben erforderte, damit die geringen ausnutzbaren Vertikalströmungen in der Atmosphäre genühten, um sich motorlos in den Lüften zu halten. Sie wissen alle, welche Triumphe durch den Segelflug der deutschen Flugtechnik beschieden waren, und ich möchte hier feststellen, daß diese Erfolge nur möglich wurden durch die umfangreichen Arbeiten auf dem Gebiete der theoretischen und experimentellen Aerodynamik, die von L. Prandtl selbst und seinen Schülern ausgingen. Das weitspannende Segelflugzeug war im wahrsten Sinne des Wortes ein nach mathematischen Gesetzen entworfenes Werkzeug, welches Leonardo da Vinci vorausgesehen und deren wesentliche Grundlagen die deutsche Flugwissenschaft unter L. Prandtl geschaffen hatte. Die im Siegestaumel benommene feindliche Außenwelt hatte demgegenüber nichts Neues hervorgebracht und heute Jahrzehntlang noch immer das verspannte Doppeldeckerflugzeug als Standardform des Weltkrieges. Das geknechtete Deutschland der Nachkriegszeit, das man aus der Flugzeugentwicklung überhaupt ausschalten wollte, hat trotz aller Fesseln die einzig tragenden Ideen des modernen Flugzeugbaues geschaffen. Die Tragflügeltheorie von Prandtl, das freitragende Ganzmetallflugzeug von Junkers und das weitspannende Segelflugzeug, „das alle Welt mit Statten und alle Schriften mit seinem Ruhm erfüllen sollte“.

Der Segelflug, diese anfangs verachtete Betätigung der Deutschen an einem „nutzlosen“ Problem, hat dann auch sehr bald für den gesamten Flugzeugbau reife Früchte getragen.

Das von Madelung entworfene erste Segelflugzeug „Vampyr“ zeigte mit dem einholmigen freitragenden Flügel eine im Flugzeugbau ganz neuartige Bauweise. Um das dicke gewölbte Flügelprofil in dem besonders empfindlichen vorderen Bereich der Nase formgetreu zu erhalten, wurde der Flügel bis zu dem an der Stelle größter Profilhöhe angeordneten Holm mit einer steifen Sperrholzhaut überzogen. Man schuf dadurch gleichzeitig eine in Verbindung mit dem Holm biegungs- und verdrehungssteife Röhre, durch die alle Luftkräfte des weitspannenden Flügels geleitet wurden.

Eine außerordentlich elegante und zweckmäßige Konstruktion. Der Pilot wurde nicht mehr wie bei den alten Gleitflugzeugen der Vorkriegszeit frei im Windstrom angeordnet, sondern in einem allseitig geschlossenen stromlinienförmigen Rumpf untergebracht.

Diese Bauweise ist in der Folgezeit nicht nur für den Segelflugzeugbau die Standardbauweise schlechthin geworden, sondern fand durch die jungen im Segelflug geschulten Konstrukteure Eingang in den Motorflugzeugbau. Vor allem war es hier der Segelflugzeugkonstrukteur Willy Messerschmitt, der sowohl die aerodynamische Gestaltung auf den Motorflugzeugbau übertrug als auch gleichzeitig die konstruktiven Gedanken der Vampyrbauweise im Motorflugzeugbau erstmalig zur Anwendung brachte. Die von Messerschmitt gebauten Sport- und Verkehrsflugzeuge waren auf zahlreichen Wettbewerben gegen stärkste ausländische Konkurrenz siegreich, und heute sind seine Jagd- und Kampfflugzeuge der Begriff höchster Leistungsfähigkeit.

Auch im übrigen deutschen Flugzeugbau waren die aus dem Segelflug kommenden Kräfte tätig und schufen die Spitzenkonstruktionen des modernen Motorflugzeugbaues.

Schließlich hat dann auch das Ausland den unerwarteten Vorsprung des deutschen Flugzeugbaues begriffen, und vor allem waren es die USA., die durch Heranziehung in Deutschland geschulter Forscher und Ingenieure die eigene Forschungsarbeit auf dem Gebiete des Flugwesens auf deutschen Grundlagen aufbauten. Gleichzeitig kaufte man deutsche Flugzeuge, um nach diesen Vorbildern einen eigenen leistungsfähigen Verkehrsflugzeugbau ins Leben zu rufen.

Man muß es den Amerikanern lassen, daß sie diese Aufgabe mit praktischem Sinn und der ihnen geläufigen Groß-

zügigkeit durchgeführt haben. Das Ganzmetallverkehrsflugzeug als freitragender Tiefdecker mit Einzelschwanz und glatter Außenhaut von Northrop, Lockheed und Douglas zeigt eine geschickte Verwendung deutscher Grundsätze in der Flugzeuggestaltung und hat in Einzelheiten eine Reihe neuer konstruktiver Gesichtspunkte aufzuweisen. Grundsätzlich Neues haben die Amerikaner mit diesen Flugzeugen jedoch nicht geleistet.

Die Forschungsarbeiten, die von der NACA auf experimentellem und theoretischem Gebiet ins Leben gerufen wurden, fanden ihren Niederschlag in zahlreichen Berichten, und die Ergebnisse waren längere Zeit während auf dem Gebiete der flugtechnischen Ingenieurwissenschaft. Vor allem waren es die systematischen Profilmessungen bei hohem Reynolds'schen Zahlen aus dem sogenannten Überdruck-Windkanal, die zahlreiche neue Anregungen gegeben haben. Man muß jedoch auch hier feststellen, daß dieser Überdruck-Windkanal von dem Prandtl-Schüler Munk erbaut wurde und daß die Gestaltungsgrundlagen der Systematik ebenfalls deutschen Ursprungs sind. Nachdem es in Deutschland möglich war, die Luftfahrtforschung gleichfalls auf eine breitere Basis zu stellen, wurden die amerikanischen Messungen auf ihre Gültigkeit hin näher untersucht, und es war der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt vorbehalten, die Fehler aufzudecken, die den Amerikanern bei ihren Messungen unterlaufen waren.

Der Motorenbau, der in der Zwischenzeit auch nicht müßig geblieben war, schuf starke leistungsfähige Triebwerke, die in Verbindung mit den Flugzeugen der modernen Bauart bedeutende Geschwindigkeitssteigerungen möglich machten. Das aerodynamisch formvollendete Verkehrsflugzeug Heinkel „Blitz“ überflügelte die Leistungen der amerikanischen Verkehrsflugzeuge und war der Ausgangspunkt einer Reihe weiterer erfolgreicher Baumuster nach diesem Gestaltungsprinzip.

Die Jagdflugzeuge der jungen deutschen Luftwaffe von Heinkel und Messerschmitt überboten die Geschwindigkeitsrekorde des Auslandes um ein Bedeutendes, und die Rekordgeschwindigkeit von 755 km/h der Me 109 ist heute noch nicht überboten worden. Diese Leistung wurde kurz vor Beginn des zweiten Weltkrieges vollbracht.

Die Flugzeugform ist heute noch der von Junkers geschaffene Tiefdecker, im Aufbau wesentlich verfeinert und in konstruktiver Beziehung den aerodynamischen Forderungen nach geringstem Widerstand Rechnung tragend. Die Forderungen nach kleinster Oberfläche führten im Normalflugzeugbau zu einer immer höheren Steigerung der Flächenbelastung, d. h. zu immer kleineren Flügeln im Verhältnis zum getragenen Gewicht und zur Motorleistung. Jede weitere Steigerung der Geschwindigkeit verlangt eine weitere Verminderung des Widerstandes. Da aber der größte Prozentsatz des bei diesen Geschwindigkeiten auftretenden Luftwiderstandes aus der Oberflächenreibung abgeleitet werden kann, ist die Forschung der jüngsten Zeit eifrig bemüht, die Reibungsgesetze innerhalb der Grenzschicht aufzuklären. Nachdem man erkannt hat, daß die Luftreibung in zwei grundsätzlichen Typen in Erscheinung treten kann, wobei die sogenannte laminare Reibung in dem in Frage kommenden Bereich wesentlich geringere Widerstände hervorruft, als die gewöhnlicherweise auftretende turbulente Reibung, ist man bemüht, Mittel und Wege zu finden, um durch besondere Gestaltung der Flügelschnitte unter Einhaltung höchster Oberflächenglätte den laminaren Strömungszustand der Grenzschicht zu gewährleisten.

Die Reibungswiderstände allein sind bei näherer Betrachtung jedoch nur zum Teil für das Zustandekommen des Widerstandes verantwortlich zu machen. Die Bauweise des Flugzeugs, wie sie heute üblich ist, bedingt eine gegenseitige Beeinflussung der Strömung um die verschiedenen Bauteile.

So entsteht z. B. ein sogenannter Interferenzwiderstand durch den Einfluß der Rumpfumströmung auf die Strömung um den Flügel. Das gleiche gilt für die gegenseitige Beeinflussung zwischen Rumpf- und Leitwerksflächen oder für die am Flügel angebrachten Motorgondeln. Trotz aller Glätte des Flugzeugs sind diese Interferenzwiderstände strömungsmäßig durch die Formgebung bedingt. Selbsterständlich besteht eine ähnliche Beeinflussung zwischen dem Luftschraubenstrahl und den dahinter angeordneten Flugzeugbauteilen. Hier sind eine ganze Reihe von Verlusten vorhanden, die nur durch eine grundsätzliche Neugestaltung des Flugzeugs erfolgreich bekämpft werden können. Die Weiterentwicklung

des modernen Schnellflugzeugs in der heutigen Bauweise führt bei immer kleiner werdenden Flügeln nicht zum Ziel und man muß sich fragen, ob es nicht doch richtiger wäre, das Gestaltungsprinzip des Nurfügelflugzeugs erneut zur Anwendung zu bringen. Zwar führt dieser Weg bei den heutigen Flugzeugabmessungen notgedrungen zur Vergrößerung des Flügelinhaltes aber zu einer Verkleinerung des Rumpfes und dadurch zu einer wirksamen Verminderung der Interferenzwiderstände. Weiterhin gestattet die Nurfügelbauweise die Anordnung von hinter dem Flügel liegenden Luftschrauben, deren ungestörter Abstrom den Flügel nicht beeinflußt. Sie werden verstehen, daß ich nach einer jahrzehntelangen Entwicklungsarbeit auf dem Gebiete des Nurfügelflugzeugs den letzteren Weg für den richtigen halte und ich möchte nur feststellen, daß die Amerikaner in letzter Zeit ein bei Northrop entwickeltes schwanzloses Flugzeug erproben, welches dem deutschen Vorbild eng angelehnt ist. Ich denke, es erübrigt sich, auf die vorher erwähnten Gedankengänge in diesem Zusammenhang nochmals näher einzugehen.

Der Außenstehende, der von den heute geflogenen Geschwindigkeiten hört, wird sich wohl nicht mit Unrecht fragen, ob es denn überhaupt noch möglich ist, die Fluggeschwindigkeiten weiterhin zu steigern. Schließlich sind wir ja gar nicht mehr sehr weit von der Schallgeschwindigkeit entfernt, die von manchen überhaupt als die Grenze des Erreichbaren angesehen wird. Immerhin sind die Geschwindigkeiten bereits so weit gesteigert, daß die klassische hydrodynamische Theorie mit der Voraussetzung eines inkompressiblen Mediums nur noch begrenzte Gültigkeit besitzt.

Die Zusammendrückbarkeit der Luft macht sich bemerkbar und die theoretischen Ergebnisse der klassischen Theorie bedürfen einer Neuformulierung.

Wiederum war es *L. Prandtl*, der bereits vor Jahren die Änderung der Strömungsvorgänge infolge des Einflusses der Kompressibilität richtig voraussagte, und so den Grundstein zu einer Hochgeschwindigkeitsaerodynamik, der sogenannten Gasdynamik, legte. Allerdings stößt heute noch die theoretische Behandlung dieser Strömungserscheinungen auf beträchtliche mathematische Schwierigkeiten. Wenn auch das Flugzeug als Ganzes noch weit im Unterschallbereich fliegt, so treten doch an einzelnen Stellen örtlich Geschwindigkeiten auf, die wesentlich höher liegen, und bereits über die Schallgeschwindigkeit hinausgehen.

Die dabei auftretenden Beanspruchungen der Flugzeugbauteile werden verständlicherweise außerordentlich hoch und man hat manchmal Zweifel, ob das Baumaterial diesen Beanspruchungen gewachsen sein wird. Aber auch der Mensch selber, die Seele dieses mit rasender Geschwindigkeit dahineilenden künstlichen Vogels, hat nur eine begrenzte physische Leistungsfähigkeit. Und trotzdem muß diese bange Frage, ob es mit der Jagd nach Zeit und Raum noch weiter geht, bejaht werden. Die beschleunigungsfreie Bewegung kann von dem Menschen mit beliebiger Geschwindigkeit ertragen werden. Neue bessere Baustoffe werden höhere Beanspruchungen ertragen und nicht zuletzt wird die deutsche Flugwissenschaft den Weg finden, der auch hier zum Ziele führt, so wie sie bisher dem deutschen Flugzeugbau die Grundlagen geliefert hat, den Siegeslorbeer endgültig zu erringen.