

Entwicklung und Stand des persönlichen Kunstfluges.

Vortrag, gehalten im Wiener Aerodynamischen Verein.

Von Raimund Mischke.

Mit Lilienthal beginnt eine neue Ära in der Entwicklung des persönlichen Kunstfluges. Während die Arbeiten der flugtechnischen Erfinder vor Lilienthal den Charakter des ziel- und planlosen Herumprobierens trugen, arbeitete Lilienthal in echt wissenschaftlichem Geiste an der Weiterentwicklung des Problems des persönlichen Kunstfluges. Lilienthal führte jahrzehntelang zahlreiche genaue Messungen über den Luftwiderstand gegen ebene und verschiedene gewölbte Flächen aus. Die Ergebnisse dieser Messungen und Studien veröffentlichte Lilienthal in dem bekannten Werke: „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst“, erschienen in Berlin im Jahre 1893. In dieser Schrift wurden zum erstenmal die wesentlichen Prinzipien des persönlichen Kunstfluges deutlich und klar vorgelegt. Zum Schlusse seines Werkes stellt Lilienthal 10 Sätze auf für die Construction von Apparaten für den persönlichen Kunstflug und die Anstellung von praktischen Versuchen mit derartigen Maschinen; die Mehrzahl dieser Grundsätze besitzt auch heute noch volle Gültigkeit. Im Jahre 1890 ging Lilienthal an die Ausführung von Versuchsversuchen in der freien Atmosphäre. Er konstruierte in den folgenden Jahren eine Reihe von Gleitmaschinen verschiedener Größe und experimentierte fleißig mit denselben. Die Ergebnisse seiner Versuche legte Lilienthal in zahlreichen Aufsätzen nieder, welche größtenteils im „Prometheus“ und der früheren „Zeitschrift für Luftschiffahrt“ erschienen sind. Lilienthal's erste Gleitmaschinen bestanden aus einer einzigen Tragfläche, welche ungefähr die Form ausgespannter Federmausflügel hatten. Das Gerüst bestand aus Weidenruthen, der Ueberzug aus Shirting. Die Tragfläche des Apparates, mit dem Lilienthal 1893 experimentierte, betrug 14 Quadratmeter, das Gewicht dieser Gleitmaschine war 20 Kilogramm. Für die Verankerung einer Gleitfläche errichtete Lilienthal zunächst auf der Reithöhe bei Steglitz einen thurmartigen Schoppen, von dessen Dach aus die Gleitfläche eingeleitet wurden. Im Jahre 1891 ließ Lilienthal bei Groß-Lichterfelde in der Nähe von Berlin einen 15 Meter hohen Hügel aufschütten, von dessen Spitze aus die Abflüge stattfanden. Im folgenden Jahre konstruierte Lilienthal eine neue Type von Gleitmaschinen; dieselbe hatte zwei übereinander gestellte Flächen. Jede der beiden Tragflächen besaß einen Inhalt von 9 Quadratmetern bei einer Spannweite von 5 1/2 Metern. Lilienthal war mit den Leistungen dieser doppelflügeligen Maschine recht zufrieden und experimentierte in der Folge fast ausschließlich nur mit Apparaten dieser Type. Um die Weite der Gleitfläche noch weiter ausdehnen zu können, verlegte Lilienthal im Jahre 1896 seine Experimente wieder nach den Rhinower Bergen zwischen Rathenow und Neustadt, wo er schon im Jahre 1893 mit dem einflügeligen Apparate längere Zeit mit Erfolg zahlreiche Gleitflüge ausgeführt hatte. Von den Kluppen der Rhinower Berge, welche bis zu 80 Metern Höhe aufsteigen, führte Lilienthal Flüge bis zu 250 Metern Weite aus.

In dieser einjähigen Hügellandschaft spielte sich am 12. August 1896 jene tragische Katastrophe ab, welche den frühzeitigen Tod dieses genialen und kühnen Mannes zur Folge hatte. Wie der Unfall sich ereignete, darüber ist nichts Näheres bekannt. Der einzige Zeuge des traurigen Geschehnisses, Lilienthal's langjähriger Gehilfe, den ich vor drei Jahren zufällig in Groß-Lichterfelde traf, wußte mir nichts weiter anzugeben, als daß der Apparat plötzlich in der Luft gekippt sei und samt seinem Führer zu Boden stürzte.

In England wurden die Gleitversuche von dem Schüler Lilienthal's, Percy Sinclair Pilcher, mit großem Eifer, aber — wie es scheint — geringerer Vorsicht fortgeführt. Pilcher's Gleitmaschine glich in allen wesentlichen Punkten dem einflügeligen Segelapparate Lilienthal's; sie scheint aber zu schwach konstruiert gewesen zu sein. Bei einem am 30. September 1899 in Gegenwart mehrerer Mitglieder der englischen aeronautischen Gesellschaft unternommenen Versuche stürzte der Segelapparat in der Luft zusammen und stürzte samt dem Führer zu Boden; Pilcher zog sich bei diesem Sturze so schwere Verletzungen zu, daß er bald darauf starb.

In Amerika wurden die Versuche Lilienthal's fortgesetzt durch D. Chanute; derselbe ließ auf seine Kosten eine ganze Reihe von Gleitmaschinen bauen, mit denen von seinem Schüler Herring und Anderen zahlreiche gelungene Gleitflüge ausgeführt wurden.

D. Chanute faßt das Ergebnis seiner langjährigen praktischen Erfahrungen in folgende Sätze zusammen: Der Apparat muß erstens unter allen Umständen automatische Stabilität und Sicherheit besitzen; zweitens muß derselbe so leicht und klein sein, daß er durch die persönliche Kraft seines Lenkers im Winde beherrscht werden kann. Die Stabilität eines Apparates ist das wichtigste Problem, das gelöst werden muß, ehe der Versuch gemacht wird, einen künstlichen Motor in Anwendung zu bringen. Dies kann nicht eindrucklich genug betont werden, und der beste Weg, dieser Grundforderung zu genügen, besteht darin, mit Apparaten zu experimentieren, die im Stande sind, einen Menschen zu tragen. Man macht sich die immer zuverlässigere Kraft der Schwere nutzbar bis zur Zeit, wo das automatische Gleichgewicht endlich vollständig erreicht ist. Dann erst — und nur dann — kann man mit Sicherheit einen Motor in Anwendung bringen. Ein zweites wichtiges Erfordernis ist, daß der erste Apparat, welcher mit einem Motor ausgerüstet wird, in den kleinstmöglichen Dimensionen ausgeführt werde. Der ganze Apparat soll so leicht und klein sein, daß der Flieger denselben auf seinen Schultern tragen kann.

Mit den im Vorausgehenden angeführten Grundsätzen hat Chanute gleichzeitig völlig klar und deutlich die Prinzipien formuliert, auf denen der persönliche Kunstflug basiert. Gleichfalls angeregt durch die Arbeiten Lilienthal's, haben die Maschinenfabrikanten Wilbur und Orville Wright in Dayton in Ohio in den letzten drei Jahren zahlreiche Gleitversuche mit verschiedenen Apparaten ausgeführt. Diese Versuche beanspruchten das größte Interesse, denn sie stellten einen sehr wesentlichen Fortschritt gegenüber den von Lilienthal und Chanute erreichten Resultaten dar.

Die Gleitmaschinen der Brüder Wright lehnen sich der Form nach ziemlich genau an den letzten Typus von Chanute an; sie besitzen, wie diese gleichfalls zwei lothrecht übereinander angebrachte Tragflächen. In der Mitte der

unteren Tragfläche ist in kurzer Distanz von dem Vorderende der Fläche ein kleines Horizontalsteuer so angebracht, daß es um eine horizontale, senkrecht zur Flugrichtung liegende Achse gedreht werden kann. Die Auf- und Abbiegung dieses Steuerflügel soll die Verschiebung des Druckmittelpunktes weit wirksamer paralysieren, als die von den früheren Experimentatoren praktizierte Verschiebung des Körpers. Die Seitensteuerung wird bei der neuen Gleitmaschine von Wright durch einseitige Torsion der Tragfläche erreicht. Auch bezüglich der Rahmenconstruction und des Baues der Tragflächen weist der Apparat von Wright einige Abänderungen gegenüber dem Segelapparate von Chanute auf. Die wichtigsten derselben sind:

Das vordere Querversteifungsrohr des Rahmens der Tragflächen ist knapp an den Rand der Flächen verschoben; die Rippen der Tragflächen sind oben und unten glatt mit Stoff überspannt; die Spanndrähte sind so arrangiert, daß das Anspannen von zwei derselben genügt, um alle Drähte zu spannen.

Die ersten Versuche wurden im Sommer des Jahres 1900 in Kitty-Hawk in Nord-Carolina, einer kleinen Ansiedlung auf der Landzunge, welche Albemarle-Saund vom atlantischen Ocean trennt, ausgeführt. Es war zunächst eine Maschine mit einer Gesamttragfläche von 200 Quadratfuß (= 19,5 Quadratmetern) projectiert. In Folge der Unmöglichkeit, das zur Construction eines so großen Apparates erforderliche Material zu finden, konnten aber nur Tragflächen von zusammen 165 Quadratfuß (= 15,3 Quadratmetern) hergestellt werden. Mit diesem Apparate wurden zahlreiche Versuche angestellt. Zunächst wurde die Maschine bei 25 bis 30 Meilen (= 40 bis 48 Kilometern) Windgeschwindigkeit als Drache steigen gelassen. Es ergab sich, daß in einem Winde von etwa 25 Meilen der Neigungswinkel der Tragflächen ungefähr 20 Grad betrug. Schon aus den ersten Versuchen konnte man entnehmen, daß die neue Methode der Regulierung der seitlichen Balance viel wirkungsvoller ist als die früher übliche Seitensteuerung durch Verlegung des Schwerpunktes des Rumpfes. Es wurden auch zahlreiche Messungen des Auftriebes bei verschiedenen Belastungen ausgeführt; dieselben ergaben das interessante Resultat, daß der gesammte horizontale Stirnwiderstand der Gleitmaschine bei einer Belastung von 52 Pfund nur 85 Pfund betrug; es ist dies weniger als die Hälfte des bis jetzt für die Versteifungen allein in Anschlag gebrachten Stirnwiderstandes. Zieht man von dem gemessenen Stirnwiderstande den auf das gehobene Gewicht entfallenden Bruchtheil ab, so ergibt sich, daß der Stirnwiderstand der Versteifungen bei der neuen Gleitmaschine von Wright weniger als die Hälfte des von Chanute bei seinem Segelapparate gemessenen Stirnwiderstandes beträgt. Für die Ausföhrung von Gleitflügen war das Terrain bei Kitty-Hawk nicht geeignet. Es wurde deshalb ein circa vier Meilen südlicher gelegener Ort aufgesucht, wo der Kill-Devil-Sandhügel vom flachen Strande bis zu einer Höhe von mehr als 100 Fuß sich erhebt. Die Hauptböschung des Hügels liegt gegen Nordwesten und hat eine Neigung von 10 Grad. Die Gleitflüge wurden in der Weise eingeleitet, daß zwei Männer die Maschine emporhoben und ins Gleiten brachten. Der Führer befand sich dabei in horizontaler Lage, in welcher er auch landete. Die Kontrolle der Maschine erwies sich als vortrefflich; der Apparat gehorchte der leisesten Bewegung des Steuerflügel größer als bei der Landung. Die Schwebegeschwindigkeit des Apparates betrug gegen 8 Meilen in der Secunde; das beste Resultat wurde bei Windgeschwindigkeiten von 10,5 Metern erreicht. Bei Windgeschwindigkeiten unter 3 Metern in der Secunde war es schwer, den Apparat zum Fluge zu bringen, da es nicht leicht möglich war, mit einer so großen Maschine den erforderlichen Anlauf von 5 Metern Geschwindigkeit in der Secunde auszuführen. Am zweckmäßigsten erwiesen sich im Allgemeinen Windgeschwindigkeiten von 8 bis 10 Metern in der Secunde; es wurden aber selbst bei Windgeschwindigkeiten von 16,7 Metern in der Secunde mit voller Sicherheit Gleitflüge ausgeführt. Der längste Flug war 622 Fuß (= 189 Meter), welcher in 26 Sekunden zurückgelegt wurde; daraus folgt eine mittlere Fluggeschwindigkeit von mehr als 7 Metern in der Secunde. Die Steuerung der Maschine erfolgte durch Bewegung der Tragfläche, des horizontalen und verticalen Steuerflügel. Zur Erhaltung der Balance und der Steuerung in der Lothrecht dient die an der Stirnseite des Apparates angebrachte horizontale Fläche, zur Seitensteuerung die an der Rückseite des Apparates befindliche verticale Fläche. Sämtliche Versuche verliefen ohne den geringsten Unfall.

Die Schwierigkeiten, welche bei der praktischen Lösung des Flugproblems überwunden werden müssen, lassen sich auf drei Hauptklassen zurückführen. Dieselben beziehen sich auf die Construction der Tragfläche, die Erzeugung und Verwendung der zum Fluge erforderlichen Motorkraft und endlich — last not least — auf die Steuerung und Balance des Apparates. Ueber den Bau von Tragflächen liegen bereits genügende Erfahrungen vor, desgleichen über die Construction des erforderlichen leichten Motors und des Propellers. Mithin liegt dagegen die Frage nach der zweckmäßigsten und sichersten Art der Steuerung und der Erreichung, respective dauernden Erhaltung der Balance. In der Theorie ist das Problem der Ausbalancierung von Gleitmaschinen freilich recht einfach zu lösen. Es wird bloß gefordert, daß der Schwerpunkt des ganzen Apparates samt Benennung dauernd lothrecht unterhalb des sogenannten Druckmittelpunktes zu liegen kommt; der Druckmittelpunkt bezeichnet den Punkt, in dem man sich den gesammten auf die Tragfläche wirkenden Winddruck vereinigt denken kann. In der Praxis verhält sich die Sache indes wesentlich anders; denn die Lage des Druckmittelpunktes ist außer von der Form der Tragfläche und der Wölbung derselben auch noch von dem Winkel abhängig, unter welchem die Luft wirklich oder scheinbar auftritt, und kann nach dem heutigen Stande unserer Erfahrungen lediglich auf experimentellem Wege bestimmt werden. Eine vollständige Lösung des Problems der Balance und der Stabilität wird erst dann gefunden sein, wenn eine völlig automatische Stabilität erreicht ist.

Ein dauernder Flug in gleichbleibender Höhe nach bestimmter Richtung, welcher das Ideal der Flugtechnik darstellt, ist natürlich mit einer Gleitmaschine nicht erreichbar, sondern es kann bloß ein mehr oder weniger schräg abwärts führender Flug, ein Niedergleiten durch die Luft stattfinden, wobei aber der Apparat dennoch eine sehr beträchtliche Strecke in horizontaler Richtung zurücklegen kann, ehe das Anlanden am Boden erfolgt. Bei gleicher Abflughöhe und gleicher Windgeschwindigkeit bildet die Distanz zwischen dem Abflugs- und Landungsorte einen Maßstab für die Vergleichung zweier Gleitmaschinen. Durch Verbesserung der Construction des Apparates und ent-

Im Juli 1901 setzten die Brüder Wright die Gleitversuche mit einer neuen verbesserten Maschine fort. Der neue Apparat hatte eine Tragfläche von 308 Quadratfuß (= 28,58 Quadratmetern); die Wölbung der Tragflächen wurde von 1:22 auf 1:12, conform der Wölbung der Gleitmaschinen Otto Lilienthal's, erhöht.

Nach dem Ausbalancieren der Maschine gelangen wieder nach kurzer Uebung Gleitflüge von 300 Fuß und darüber. Es zeigte sich aber, daß die neue Maschine weniger leicht gesteuert werden konnte wie die erste Gleitmaschine. Es gelang lange Zeit nicht, die Ursache dieser Verminderung der Steuerfähigkeit zu entdecken; endlich wurde herausgefunden, daß die fragliche Erscheinung auf eine Umkehr des Wandens des Druckmittelpunktes bei kleinen Neigungswinkeln zurückzuführen ist.

Zum Verständnisse sei kurz folgendes bemerkt: Bei einem Aufstiegswinkel von 90 Grad fällt bei gewölbten Flächen der Druckmittelpunkt nahezu mit dem geometrischen Mittelpunkt der Fläche zusammen. Mit abnehmendem Winkel rückt aber der Druckmittelpunkt nach vorn, bis ein gewisser Punkt erreicht ist, dessen Lage mit der Tiefe der Wölbung variiert. Sobald dieser Punkt überschritten ist, kehrt der Druckmittelpunkt, statt mit weiter abnehmendem Winkel noch weiter nach vorne zu rücken, um und bewegt sich rasch nach der Achterkante. Dieses Phänomen ist auf die Thatsache zurückzuführen, daß bei kleinen Winkeln der Winddruck den vorderen Theil der Fläche auf der oberen Seite trifft statt von unten und in Folge dessen dieser Theil keinen Auftrieb gibt, statt den wirksamsten Theil der Tragfläche zu bilden. Lilienthal hat schon auf die Gefahr aufmerksam gemacht, welche mit Rücksicht auf diese Action gegen die obere Seite bei der Verwendung von Flächen mit einer größeren Krümmung als 1:18 liegt. Die Brüder Wright gelangten durch ihre Versuche zu der Ueberzeugung, daß eine Flächenwölbung 1:12 ohne Gefahr angewendet werden kann; trotzdem gaben sie behufs Vergrößerung der Sicherheit der Tragfläche ein sehr steiles Profil am Vorderende, um den Oberdruck auf den kleinstmöglichen Werth herabzudrücken. Durch theoretische Ueberlegungen und praktische Controlversuche gelang es schließlich, auch ein Mittel ausfindig zu machen, um die Steuerfähigkeit der Maschine auf den früheren Werth zu bringen; dies geschah einfach durch Verringerung der Tiefe der Flächenwölbung.

Nach der Rückkehr von Kitty-Hawk begannen die Brüder Wright mit der Ausführung einer Serie von Experimenten behufs genauer Bestimmung des Betrages und der Richtung des Winddruckes gegen gewölbte Flächen bei Neigungswinkeln von 0 bis 90 Grad. Diese Experimente sind noch nicht abgeschlossen, allein sie betätigten im Allgemeinen die Behauptung Lilienthal's, daß gewölbte Flächen günstiger wirken sowohl bezüglich des Betrages als auch der Richtung des Druckes als ebene Flächen.

Durch Vergleichung der beim Gleitfluge zurückgelegten Strecke mit der verticalen Fallhöhe bestimmte W. Wright bei einer Geschwindigkeit von 24 Meilen in der Stunde (= 38,6 Kilometern) den gesammten horizontalen Widerstand seiner Gleitmaschine zu 40 Pfund, was ungefähr einer consumirten Energie von 2 1/2 Pferdekraften gleichwerthig ist. Man darf aber nicht etwa vermuthen, daß ein Motor, welcher diese Arbeit leistet, auch hinreichend sei, eine bemannte Gleitmaschine wirksam anzutreiben. W. Wright glaubt, daß ein Motor von sechs Pferdekraften

hinreichen würde, um eine Gleitmaschine zum dauernden horizontalen Fluge zu befähigen. Chanute meint, ein Motor von fünf Pferdekraften und 40 Kilogramm Gewicht sei hinreichend zum Antriebe einer bemannten Gleitmaschine von 16 Quadratmetern Tragfläche. Ein solcher Motor ist heute längst keine technische Utopie mehr; denn man hat bereits Kraftmaschinen von wesentlich höherer spezifischer Leistungsfähigkeit konstruirt. Die Frage, welche man früher für das punctum saliens des Flugproblems hielt, ist also heute längst als gelöst zu betrachten.

Das Problem der Eisenbahn und des Dampfschiffes konnte bereits im neunzehnten Jahrhundert der Lösung zugeführt werden, weil es möglich war, mit geringen Effekten zu beginnen und schrittweise fortzuschreiten bis zu unseren heutigen Erfolgen. Die Lösung des Flugproblems bleibt dagegen erst dem zwanzigsten Jahrhundert vorbehalten, weil in diesem Falle die Technik bereits einen hohen Grad der Entwicklung erreicht haben mußte, bevor ein Flug von einigermaßen beträchtlicher Dauer überhaupt erreicht werden kann.

Die wichtigsten Ergebnisse, welche aus den Experimenten der Brüder Wright folgen, sind:

Bei gewölbten Flächen fällt bei einem Aufstiegswinkel von 90 Grad der Druckmittelpunkt nahezu mit dem geometrischen Mittelpunkt der Fläche zusammen; er rückt aber mit abnehmendem Aufstiegswinkel langsam vorwärts, bis ein von der Form und der Tiefe der Wölbung abhängiger kritischer Punkt erreicht ist, worauf der Druckmittelpunkt rasch nach rückwärts rückt, bis jener Aufstiegswinkel erreicht ist, bei dem der Auftrieb verschwindet.

Große Tragflächen können unter sonst gleichen Bedingungen mit nicht größerer Schwierigkeit beherrscht werden als kleine, falls die Kontrolle mehr durch Manipulationen mit den Tragflächen als durch Bewegung des Körpers des Führers bewirkt wird.

Der Stirnwiderstand des Rahmens kann auf einen wesentlich geringeren Betrag herabgedrückt werden, als gewöhnlich angenommen wird.

Die horizontale Lage des Führers kann ohne über große Gefahr angewendet werden und dadurch der Stirnwiderstand auf ungefahr ein Fünftel von jenem bei aufrechter Stellung herabgedrückt werden.

Ein Paar von übereinandergestellten Flächen ergibt weniger Auftrieb im Verhältniß zum Rücktrieb, als jede Fläche getrennt.

Auch im verflossenen Jahre setzten die Brüder Wright ihre Gleitversuche wieder fort. Die erreichten Resultate waren recht befriedigend. Mr. Wilbur Wright überreichte mir mehrere ausgezeichnete Bilder seiner letzten Gleitexperimente und ließ mir über das Ergebnis seiner Versuche folgende Mittheilungen zukommen: Im Jahre 1902 wurde eine neue doppelflügelige Maschine ausprobiert; jede der beiden Tragflächen war 32 Fuß (= 9,73 Meter) lang und 5 Fuß (= 1,52 Meter) breit. Die Gesamttragfläche betrug gegen 300 Quadratfuß (= 28 Quadratmeter). Mit dieser Maschine wurden während der beiden Monate September und October des vorigen Jahres in Nord-Carolina gegen 700 Gleitflüge ausgeführt. Die Resultate waren wesentlich besser als jene, welche mit den früheren Apparaten erreicht wurden. Die Gleitbahn der Maschine war bloß 6 1/2 bis 7 Grad gegen die Horizontale geneigt. Bei kurzen Gleitflügen von 45 bis 60 Metern Länge wurde sogar ein Gleitwinkel von nur 5 Grad erreicht. In diesen Fällen war aber die Fluggeschwindigkeit beim Ab-

sprechende Uebung kann die Flugweite einer Gleitmaschine stetig verbessert werden.

Die Gleitmaschine bildet sozusagen die Vorstufe für die eigentliche ballonfreie Flugmaschine, welche im Stande sein muß, in jeder beliebigen Richtung in gleichbleibender Höhe durch die Eigenkraft ihres Motors sich durch die Luft zu bewegen. Man mag über den Werth der Versuche mit Gleitmaschinen denken wie man will, zweifellos sicher ist, daß denselben ein nicht zu unterschätzender heuristischer Werth jedenfalls nicht abzusprechen ist.

Die Gleitmaschine stellt jene Flugmaschinentype dar, welche uns auf dem kürzesten und sichersten Wege und mit den geringsten Opfern dem heiß erstrebten Ziel zuführen wird, der endlichen vollständigen Eroberung der Luft; denn wir haben es hier mit einer entwicklungsfähigen Methode zu thun, und entwicklungsfähig muß die Methode sein, welche uns zum freien Fluge führen soll, möge sie so primitiv beginnen wie sie will. Die Gleitmaschine gestattet, über die Stabilität des Fliegens, die Windwirkungen und über das gefahrlose Landen mit dem geringsten Energie-Aufwande mittelbare Erfahrungen zu sammeln, und ermöglicht uns, durch stete Weiterentwicklung den dauernden freien Maschinenflug endlich zu erreichen.