

# Flugzeug lt. Wikipedia

Cessna 172: Mit mehr als 43.000 Exemplaren einer der meistgebauten Flugzeugtypen weltweit

Boeing 737: mit mehr als 7250 Exemplaren die meistgebaute Familie strahltriebener Passagierflugzeuge

Kampfflugzeuge verschiedenster Generationen über New York – Die General Dynamics F-16, North American P-51, Fairchild-Republic A-10 und McDonnell Douglas F-15 (v.l.n.r.)

Ein Flugzeug ist ein Luftfahrzeug, das schwerer als Luft ist und den zum Flug nötigen dynamischen Auftrieb mit starren Tragflächen erzeugt. Der Betrieb von Flugzeugen, die am Luftverkehr teilnehmen, wird durch Luftverkehrsgesetze geregelt.

Inhaltsverzeichnis [Verbergen]

1 Definition

2 Abgrenzung zu anderen Luftfahrzeugen

3 Genereller Aufbau

4 Bauweisen

5 Wartung und Lebensdauer

6 Grundlagen: Auftrieb und Vortrieb

7 Flugsteuerung

8 Weitere Klassifizierungen

9 Geschichte

10 Rekorde

11 Siehe auch

12 Literatur

13 Weblinks

14 Einzelnachweise

Definition[Bearbeiten]

Die Internationale Zivilluftfahrt-Organisation (ICAO) definiert den Begriff Flugzeug wie folgt:

„Aeroplane. A power-driven heavier-than-air aircraft, deriving its lift in flight chiefly from aerodynamic reactions on surfaces which remain fixed under given conditions of flight.“

– International Civil Aviation Organization[1]

Im rechtlichen Sprachgebrauch ist ein Flugzeug ein motorgetriebenes Luftfahrzeug schwerer als (die von ihm verdrängte) Luft, das seinen Auftrieb durch unbewegliche Tragflächen erhält, allgemeinsprachlich Motorflugzeug genannt. Wenn in einem Gesetzestext also von Flugzeugen die Rede ist, dann sind immer nur Motorflugzeuge gemeint, nicht aber Segelflugzeuge, Motorsegler und Ultraleichtflugzeuge. Letztere sind in Deutschland eine Unterklasse der Luftsportgeräte.

Manche Autoren verwenden eine weiter gefasste Definition, nach der auch die Drehflügler eine Untergruppe der Flugzeuge darstellen. Die eigentlichen Flugzeuge werden dann zur besseren Abgrenzung als Starrflügler, Starrflügelflugzeug oder Flächenflugzeug bezeichnet.[2][3] Diese Einordnung widerspricht aber sowohl der rechtlichen Definition als auch dem allgemeinen Sprachgebrauch und kann damit als veraltet betrachtet werden.[4]

Die in diesem Artikel verwendete Definition richtet sich nach der umgangssprachlichen Bedeutung des Begriffes Flugzeug, die sämtliche Luftfahrzeuge umfasst, die einen Rumpf mit festen Tragflächen besitzen.[5][6]  
Abgrenzung zu anderen Luftfahrzeugen[Bearbeiten]

Bei klassischen Flugzeugen wird der Auftrieb – bei der Vorwärtsbewegung des Luftfahrzeugs – durch die Luftströmung an den Tragflächen erzeugt. Dabei bildet sich über der Tragfläche durch den Verdrängungsimpuls des Flügels ein Wirbelansatz, der über der Tragfläche einen Unterdruck verursacht und damit einen Auftrieb erzeugt. Die Flügel können aber auch flexibel am Flugzeugrumpf fixiert sein. So werden teils horizontal verstellbare Schwenkflügel mit variabler Pfeilung eingesetzt, die der Fluggeschwindigkeit angepasst werden, z. B. beim Kampfflugzeug Tornado.

Im weiteren Sinn benutzen das Starrflügelprinzip auch Luftfahrzeuge mit vollkommen flexiblen Tragflächen, wie Gleit- und Motorschirme, sowie mit zerlegbaren Tragflächen wie bei Hängegleitern.  
Schwingenflugzeuge[Bearbeiten]

Das VTOL UAV Hummingbird fliegt durch Flügelschlag

Bei Ornithoptern, auch Schwingenflugzeug genannt, bewegen sich die Tragflächen wie Vogelflügel auf und ab, um Auftrieb und Vortrieb zu erzeugen. Sie werden daher teils auch Flatterflügel genannt. Besonders in der Frühzeit der Luftfahrt wurde versucht, Schwingenflugzeuge nach dem Vorbild der Natur zu bauen. Es ist nicht bekannt, dass personentragende Flugzeuge dieses Typs bisher geflogen sind, es gibt aber funktionsfähige, ferngesteuerte Modell-Ornithopter und Kleinstdrohnen, so z. B. das DelFly der TU Delft.

Rotorflugzeuge[Bearbeiten]

Ein Rotorflugzeug besitzt als Tragorgane Flettner-Rotoren, die den Magnus-Effekt nutzen. Momentan haben Rotorflugzeuge keinerlei praktische Bedeutung. Rotorflugzeuge dürfen nicht mit Drehflüglern verwechselt werden.

Drehflügler[Bearbeiten]

Fairey Rotodyne: Ein Kombinationsflugschrauber mit Tragflächen

Bei Drehflüglern (Hubschrauber, Helikopter) sind die Tragflächen in Form eines horizontalen Rotors aufgebaut. Die Luftströmung über den Rotorblättern ergibt sich aus der Kombination der Drehbewegung des Rotors und der anströmenden Luft aus Eigenbewegung und Wind.

Einige Drehflügler, wie zum Beispiel die Verbundhubschrauber oder Kombinationsflugschrauber besitzen jedoch neben ihrem Hauptrotor auch mehr oder weniger lange, feste Tragflächen, die für zusätzlichen Auftrieb sorgen.

Raumgleiter wie das Space Shuttle starten wie Raketen und landen wie Flugzeuge

Raketen[Bearbeiten]

Anders als das Flugzeug fliegt die Rakete ballistisch, auch wenn sie aerodynamische Steuerflächen haben kann. Diese dienen aber nicht dem Auftrieb, sondern nur der Stabilisierung und Steuerung. Ein Sonderfall ist der Raumgleiter, der meist im ballistischen Flug startet und im aerodynamischen Flug landet. Er kann als Flugzeug angesehen werden.

Bodeneffektfahrzeuge[Bearbeiten]

Bodeneffektfahrzeuge fliegen mit Hilfe von Tragflächen knapp über der Erdoberfläche und ähneln damit tief fliegenden Flugzeugen. Sie sind jedoch in der Regel nicht in der Lage, über den Einflussbereich des Bodeneffektes hinaus zu steigen und gelten daher – ähnlich wie Luftkissenfahrzeuge – nicht als Luftfahrzeuge.

## Genereller Aufbau[Bearbeiten]

Traditionell wird ein Flugzeug in drei Hauptgruppen (Konstruktionshauptgruppen) unterteilt: Flugwerk, Triebwerksanlage und Ausrüstung.  
Flugwerk[Bearbeiten]

Tragfläche mit um wenige Grad ausgefahrenen Landeklappen

Das Flugwerk besteht aus dem Tragwerk, dem Rumpfwerk, dem Leitwerk, dem Steuerwerk und dem Fahrwerk bei Landflugzeugen bzw. den Schwimmern bei Wasserflugzeugen. Bei Senkrechtstartern und Segelflugzeugen älterer Bauart kann statt des Fahrwerk oder der Schwimmer ein Kufenlandegestell vorhanden sein. In vielen, meist älteren Veröffentlichungen wird statt Flugwerk der Begriff Flugzeugzelle oder einfach Zelle verwendet.[7]

Tragwerk[Bearbeiten]

Das Tragwerk besteht aus Flügel, Vorflügel und Landeklappen.

Leitwerk[Bearbeiten]

Das Leitwerk besteht aus dem Höhenleitwerk mit den Höhenrudern und den zugehörigen Trimmrudern, dem Seitenleitwerk mit dem Seitenruder und dem Trimmruder dafür und den Querrudern. Zudem ist die Hauptaufgabe des Leitwerks die gegebene Fluglage und Richtung zu stabilisieren und Steuerung um alle drei Achsen des Flugzeuges.

Leitwerk	Steuerelemente	Wirkung	Achsensystem
Höhenleitwerk	Höhenflosse und Höhenruder	Drehung um die Querachse	Y-Achse
Seitenleitwerk	Seitenflosse und Seitenruder	Drehung um die Hochachse	Z-Achse
Flächenleitwerk	Querruder und Spoiler	Drehung um die Längsachse	X-Achse

Steuerwerk[Bearbeiten]

Das Steuerwerk oder die Steuerung besteht beim Starrflügelflugzeug aus dem Steuerknüppel oder der Steuersäule mit Steuerhorn oder Handrad und den Seitensteuerpedalen, mit denen die Steuerbefehle gegeben werden. Für die Übertragung der Steuerkräfte bzw. -signale können Gestänge, Seilzüge oder eine Steuerhydraulik, elektrische Signale (Fly-by-wire) oder auch durch Lichtsignale (Fly-By-Light) eingesetzt werden. Die Steuersäule wird bei einigen modernen Flugzeugen durch den Sidestick ersetzt.

Rumpfwerk[Bearbeiten]

Der Rumpf eines Flugzeuges ist das zentrale Konstruktionselement der meisten Flugzeuge. An den Rumpf wird das Flugwerk angebracht, und beherbergt neben den Piloten auch einen Großteil der Betriebsausrüstung. Bei einem Passagierflugzeug nimmt der Rumpf die Passagiere auf. Oft ist auch das Fahrwerk ganz oder teilweise am Rumpf. Die Triebwerke können in den Rumpf integriert werden. Bei Flugbooten ist der untere Teil des Rumpfes in einer Bootsform für die Wasserung ausgeführt.

Man unterscheidet verschiedene Rumpfformen. Heute sind runde Rumpfquerschnitte die Regel, wenn die Maschine eine Druckkabine besitzt. Frachtmaschinen besitzen oft einen rechteckigen Rumpfquerschnitt, um das Beladevolumen zu optimieren. Die meisten Flugzeuge besitzen einen Rumpf, es gibt jedoch auch Maschinen mit zwei nebeneinander liegenden Rümpfen, einem Doppelrumpf, oder ohne sichtbaren Rumpf, eine Art des Nurflügelflugzeuges.

Fahrwerk[Bearbeiten]

→ Hauptartikel: Fahrwerk

Das Fahrwerk ermöglicht einem Flugzeug sich am Boden zu bewegen, die erforderliche Abhebegeschwindigkeit zu erreichen, die Landestöße zu absorbieren und Stöße z. B. durch Bodenwellen zu dämpfen. Fahrwerke werden in ein starres und halbstarres Fahrwerk, das auch während des Fluges unverändert seine Position beibehält wobei das halbstarre Fahrwerk teilweise eingezogen wird (z. B. nur das Bugfahrwerk), und einem Einziehfahrwerk, das vor und nach dem Start oder der Landung eingezogen und gegebenenfalls durch Fahrwerksklappen abgedeckt werden kann, eingeteilt. Einziehfahrwerke sind bei Flugzeugen mit hoher Endgeschwindigkeit unerlässlich. Als Fahrwerksform kommt das Bugradfahrwerk zum Einsatz, bei dem ein kleines Rad unter dem Flugzeugvorderteil angebracht und das Hauptfahrwerk hinter dem Flugzeugschwerpunkt liegt. Dies ermöglicht während des Rollens am Boden gute Sicht für den Piloten. Das ehemals weit verbreitete Heck- oder Spornfahrwerk mit einem kleinen Rad oder einem Schleifsporn am Heck kommt heute nur noch selten zum Einsatz. Eine Besonderheit ist das Tandemfahrwerk, bei dem die Hauptlast tragenden Fahrwerksteile vorne und hinten am Rumpf gleich groß sind und das Flugzeug durch Stützräder am Tragwerk stabilisiert wird.

Triebwerk[Bearbeiten]

→ Hauptartikel: Luftfahrtantrieb

Turbofan-Triebwerk einer Boeing 747

Das Triebwerk eines Flugzeuges umfasst einen oder mehrere Motoren (i.a. gleicher Bauart) mit Zubehör. Die häufigsten Bauweisen sind: Kolbenmotor oder Wellenleistungstriebwerk (Gasturbine) mit Propeller (Turboprop), Strahltriebwerke wie der Turbofan. Selten/experimentell sind Staustrahltriebwerk, Raketentriebwerk oder Elektromotor.

Zum Zubehör gehören das Kraftstoffsystem und -leitungen, ggf. eine Schmieranlage, die Motorkühlung, Triebwerksträger und Triebwerksverkleidung.

Außerhalb der Kampffliegerei sind die Strahltriebwerke aus Wartungsgründen mittlerweile nicht mehr in den Flügel oder Rumpf integriert, eine Ausnahme bildet die Nimrod MRA4.

Als Treibstoff wird meist Kerosin, AvGas oder MoGas verwendet.  
Betriebsausrüstung[Bearbeiten]

Betriebsausrüstung: Cockpit einer Dornier Do 228

Die Betriebsausrüstung eines Flugzeuges umfasst alle bordseitigen Komponenten eines Flugzeuges, die nicht zu Flugwerk und Triebwerk gehören und die zur sicheren Durchführung eines Fluges erforderlich sind. Sie besteht aus den Komponenten zur Überwachung von Fluglage, Flug- und Triebwerkszustand, zur Navigation, zur Kommunikation, aus Versorgungssystemen, Warnsystemen, Sicherheitsausrüstung und gegebenenfalls Sonderausrüstung. Der elektronische Teil der Betriebsausrüstung wird auch Avionik genannt.

Viele Fachautoren zählen inzwischen das Steuerwerk oder die Steuerung nicht mehr zum Flugwerk, sondern zur Betriebsausrüstung, da bei modernen Flugzeugen die Steuerung von den Sensoren der Betriebsausrüstung und von Bordrechnern wesentlich beeinflusst wird.  
Bauweisen[Bearbeiten]

Werkstoffe für Flugzeuge sollten eine möglichst große Festigkeit (s. a. Spezifische Festigkeit) gegenüber statischen und dynamischen Beanspruchungen besitzen, damit das Gewicht des Flugzeuges möglichst klein gehalten werden kann. Grundsätzlich eignen sich insbesondere Stähle, Leichtmetalllegierungen, Holz, Gewebe und Kunststoffe für den Flugzeugbau. Während Holz bis zu mittleren Größen sinnvoll angewendet worden ist, wird heute im Flugzeugbau allgemein die Ganzmetall- und Gemischtbauweise bevorzugt, bei der verschiedene Materialien so kombiniert werden, dass sich ihre jeweiligen Vorteile optimal ergänzen.

Strukturen an Flugzeugen lassen sich durch verschiedene Bauweisen realisieren. Es kann zwischen vier Bauweisen unterschieden werden, der Holzbauweise, Gemischtbauweise, Metallbauweise und FVK-Bauweise.  
Holzbauweise[Bearbeiten]

Innenansicht des in Holzbauweise gefertigten Rumpfes einer Fisher FP-202

Bei der Holzbauweise wird für den Rumpf ein Gerüst aus hölzernen Längsurten und Spanten geleimt, das anschließend mit dünnem Sperrholz beplankt wird. Die Tragfläche besteht aus einem oder zwei Holmen, an die im rechten Winkel vorne und hinten die sog. Rippen angeleimt sind. Die Rippen geben dem Flügel die richtige Form. Vor dem Holm ist der Flügel mit dünnem Sperrholz beplankt, diese Beplankung wird Torsionsnase genannt, sie verhindert, dass sich der Flügel beim Flug parallel zum Holm verdreht. Hinter dem Holm ist der Flügel mit einem Stoff aus Baumwolle oder speziellem Kunststoff bespannt. Dieser Stoff wird auf dem Holm oder der Torsionsnase und an der Endleiste, die die Rippen an der Flügelhinterkante verbindet, festgeklebt und mit Spannlack bestrichen. Spannlack zieht sich beim Trocknen zusammen und sorgt so dafür, dass die Bespannung straff ist. Bei Motorflugzeugen muss der Stoff zusätzlich noch an den Rippen festgenäht werden. Modernere Bespannstoffe aus Kunststoff ziehen sich beim Erwärmen zusammen, sie werden zum Spannen gebügelt. In die oberen Spannlackschichten wird bei Motorflugzeugen Aluminiumpulver als UV-Schutz eingemischt. Beispiele für solche Flugzeuge sind z. B. die Schleicher Ka 2 oder die Messerschmitt M17. Die reine Holzbauweise ist inzwischen veraltet.

Metallbauweise: Rohbau einer Bushcaddy R-80

Metallbauweise[Bearbeiten]

Die Metallbauweise ist bei Motorflugzeugen die gängigste Bauweise. Der Rumpf besteht aus einem verschweißten oder vernieteten Metallgerüst, das außen mit Blech beplankt ist. Die Tragflächen bestehen aus einem, bei großen Flugzeugen auch mehreren, Holmen, an die die Rippen angenietet oder angeschraubt sind. Die Beplankung besteht wie beim Rumpf aus dünnem Blech. Eines der bekanntesten Motorflugzeuge in Metallbauweise ist die Cessna 172, aber es gibt auch Segelflugzeuge aus Metall, wie den LET L-13 Blaník.

Gemischtbauweise[Bearbeiten]

Der Rumpf einer Piper PA-18 (Gemischtbauweise: Metallgestell und Bespannung) hier ohne Bespannung während einer Grundüberholung

Die Gemischtbauweise ist eine Mischung aus Holz- und Metallbauweise. Üblicherweise besteht hierbei der Rumpf aus einem geschweißten Metallgerüst, das mit Stoff bespannt ist, während die Flügel wie in der Holzbauweise gebaut sind. Es gibt allerdings auch Flugzeuge, deren Tragflächen ebenfalls aus einem bespannten Metallgerüst bestehen. Der Grundaufbau aus Holmen und Rippen unterscheidet sich aber nur durch die verwendeten Materialien von der Holzbauweise. Die Schleicher K 8 ist ein Flugzeug mit einem Rumpf aus Metallgerüst und hölzernen Tragflächen, bei der Piper PA-18 bestehen die Tragflächen aus einem Aluminiumgerüst.

Ein Querruder einer Schleicher ASK 21. Das FVK ist angeschliffen, die einzelnen Glasfaser-Gewebelagen sind gut erkennbar.

Kunststoffbauweise[Bearbeiten]

Die Metallbauweise wird seit einigen Jahren zunehmend durch die Faser-Verbund-Kunststoff-Bauweise (kurz: FVK-Bauweise) verdrängt. Das Flugzeug besteht aus Matten, meistens Gewebe aus Glas-, Aramid-, oder Kohlefasern, die in Formen gelegt, mit Kunstharz getränkt und anschließend durch Erhitzen ausgehärtet werden. An den Stellen des Flugzeuges, die viel Energie aufnehmen müssen wird zusätzlich ein Stützstoff, entweder Hartschaumstoff oder eine Wabenstruktur eingeklebt. Auch hier wird nicht auf Spanten im Rumpf und Holme in den Tragflächen verzichtet. Die FVK-Bauweise wurde zuerst im Segelflug angewendet, das erste Flugzeug dieser Bauweise war die FS 24, der Prototyp wurde 1953 bis 1957 von der Akaflieg Stuttgart gebaut. Inzwischen gehen aber auch Hersteller von Motorflugzeugen auf die FVK-Bauweise über, z. B. Diamond Aircraft oder Cirrus Design Corporation. Beispiele für die FVK-Bauweise sind der Schempp-Hirth Ventus oder die Diamond DA40. Vor allem im Großflugzeugbau werden zurzeit auch Kombinationen aus Metallbauweise und FVK-Bauweise hergestellt. Das populärste Beispiel ist der Airbus A380.

Wartung und Lebensdauer[Bearbeiten]

Verkehrsflugzeuge sind so konzipiert, dass sie bei regelmäßiger Wartung mindestens 50–60.000 Flugstunden bzw. 20.000 (Langstreckenmaschinen, z. B. 747) bis 75.000 (Kurzstreckenmaschinen, z. B. 737) Flüge absolvieren können. Diese Mindestzielgrößen (Minimum Design Service Objectives) werden insbesondere hinsichtlich des Alters (Ziel: 20 Jahre) und der Flugstunden in großer Zahl überschritten.[8] Der sogenannte D-Check erfolgt nach acht Jahren oder 30.000 Flugstunden. Dabei wird das gesamte Flugzeug generalüberholt. Die Wartungsintervalle der Turbinen liegen bei 20.000 Flugstunden. Auf dem Rollfeld legt eine Verkehrsmaschine im Mittel 5 km pro Flug zurück. Daraus ergibt sich innerhalb der Lebensdauer eine Kilometerleistung am Boden von mehr als 250.000 km.

Militärflugzeuge werden ebenfalls für eine Einsatzzeit von ca. 15 Jahren konzipiert, jedoch nur für 5000–8000 Flugstunden.

Grundlagen: Auftrieb und Vortrieb[Bearbeiten]

Auftrieb[Bearbeiten]

→ Hauptartikel: Dynamischer Auftrieb

Der Auftrieb an der Tragfläche eines Flugzeuges wird einerseits durch die Form des Flügelprofils, andererseits durch den Winkel zwischen der anströmenden Luft und der Flügelebene (genauer: der Profillehne), den sogenannten Anstellwinkel (engl. angle of attack), bestimmt. Durch Erhöhung des Anstellwinkels bei konstanter Fluggeschwindigkeit steigt der Auftrieb proportional, dies trifft bei der Besonderheit des Überschallfluges nicht zu.

Im Geradeausflug ist die Auftriebskraft gleich der Gewichtskraft (Gleichgewicht), im Kurvenflug oder bei Abfangmanövern hingegen ist die Auftriebskraft größer als die Gewichtskraft.



Auch der Rumpf kann einen gewissen Anteil des Auftriebs erzeugen: Bei Lifting-Body-Flugzeugen ist dieser aerodynamisch so geformt, dass er den Hauptanteil des Auftriebs trägt.

#### Kräfte am Flugzeug

Zusammenhang zwischen Auftrieb, Vortrieb und Luftwiderstand[Bearbeiten]

Um sich vorwärts zu bewegen, muss das Luftfahrzeug Vortrieb erzeugen, um den Widerstand zu überwinden, der die freie Vorwärtsbewegung hemmt. Der Luftwiderstand eines Luftfahrzeuges ist abhängig vom Formwiderstand, auch parasitärer Widerstand genannt, bedingt durch die Reibung der Luft am Körper des Luftfahrzeuges, vom Auftrieb. Der vom Auftrieb abhängige, „induzierte“ Teil des Luftwiderstands wird induzierter Widerstand genannt.

Während sich die parasitäre Widerstandsleistung mit zunehmender Fluggeschwindigkeit in 3. Potenz der Geschwindigkeit vergrößert, verringert sich die induzierte Widerstandsleistung umgekehrt proportional. Der resultierende Gesamtwiderstand führt während des Fluges zu einem Energieverlust, der durch Energiezufuhr (Treibstoff, Sonnen- oder Windenergie) ausgeglichen werden muss, um den Flug fortzusetzen. Ist die zugeführte Energie größer als der Verlust durch den Gesamtwiderstand, wird das Luftfahrzeug beschleunigt. Diese Beschleunigung kann auch in Höhengewinn umgesetzt werden (Energieerhaltungssatz).

Maßgeblich für die aerodynamische Qualität eines Luftfahrzeugs ist sowohl ein günstiger Strömungswiderstandsbeiwert (-Wert) wie beim Kraftfahrzeug, wie auch das Verhältnis vom Widerstandsbeiwert zum Auftriebsbeiwert, die Gleitzahl.

Den Zusammenhang zwischen dem Widerstandsbeiwert und dem Auftriebsbeiwert eines bestimmten Flügelprofils und damit dessen aerodynamische Charakteristik nennt man die Profilpolare, dargestellt im Polardiagramm nach Otto Lilienthal.

Daraus ergibt sich die Auftriebsformel

sowie die Widerstandsformel

wobei  $C_L$  für die Beiwerte von Auftrieb und Widerstand,  $C_D$  für Staudruck (abhängig von Geschwindigkeit und Luftdichte) und  $S$  für die Bezugsfläche steht.

Fluggeschwindigkeit und Flugenveloppe[Bearbeiten]

→ Hauptartikel: Fluggeschwindigkeit

Man kann zwischen folgenden Ausdrücken für Geschwindigkeiten unterscheiden:[9]

Angezeigte Geschwindigkeit (engl. indicated air speed, IAS)

Kalibrierte Geschwindigkeit (engl. calibrated air speed, CAS), ist die um den Instrumentenfehler korrigierte IAS.

Äquivalenzgeschwindigkeit (engl. equivalent air speed, EAS), ist die um die Kompressibilität korrigierte CAS

Wahre Geschwindigkeit (engl. true air speed, TAS), ist die um die Luftdichte in größerer Flughöhe korrigierte EAS.

Geschwindigkeit über Grund (engl. ground speed, GS), ist die um den Wind korrigierte TAS.

Mach-Zahl (engl. mach number, MN), ist eine EAS, ausgedrückt durch ein Vielfaches der Schallgeschwindigkeit.

Der Flugzeugführer bekommt über seinen Fahrtmesser die Geschwindigkeit gegenüber der umgebenden Luft angezeigt. Diese wird aus statischem und dynamischem Druck am Staurohr des Fahrtmessers ermittelt. Diese angezeigte Geschwindigkeit (indicated air speed, abgekürzt IAS) ist von der Luftdichte und somit der Flughöhe abhängig. Die IAS ist maßgeblich für den dynamischen Auftrieb. Sie hat daher die größte Bedeutung für die Piloten. In modernen Cockpits wird die IAS rechnerisch um den Instrumentenfehler korrigiert und als CAS angezeigt.

Der mögliche Geschwindigkeitsbereich eines Flugzeugs in Abhängigkeit von der Flughöhe wird durch die Flugenveloppe dargestellt. Die untere Grenze wird dabei von der Überziehgeschwindigkeit, die obere Grenze vom Erreichen der Festigkeitsgrenzen dargestellt. Bei Flugzeugen, die bedingt durch die hohe Leistung ihres Antriebs den Bereich der Schallgeschwindigkeit erreichen können, die aber nicht für Überschallflüge konstruiert sind, liegt sie in einem gewissen Abstand unterhalb der Schallgeschwindigkeit.

Wie schnell ein Flugzeug bezogen auf die Schallgeschwindigkeit fliegt, wird durch die Mach-Zahl dargestellt. Benannt nach dem österreichischen Physiker und Philosophen Ernst Mach, wird die Mach-Zahl 1 der Schallgeschwindigkeit gleichgesetzt. Moderne Verkehrsflugzeuge mit Strahltriebwerk sind i. a. optimiert für Geschwindigkeiten (IAS) von Mach 0,74 bis 0,90.

Damit die Tragfläche ausreichend Auftrieb erzeugt, wird mindestens die Minimalgeschwindigkeit benötigt. Sie wird auch als Überziehgeschwindigkeit bezeichnet, weil bei ihrem Unterschreiten ein Strömungsabriss (engl. stall) erfolgt und der Widerstand stark ansteigt, während der Auftrieb zusammenbricht. Die Überziehgeschwindigkeit verringert sich, wenn Hochauftriebshilfen (wie Landeklappen) ausgefahren sind.

Beim Drehflügler ist die Fluggeschwindigkeit durch die Aerodynamik der Rotorblätter begrenzt: Einerseits können die Blattspitzen den Überschallbereich erreichen, andererseits kann es beim Rücklauf zum Strömungsabriss kommen.

Die bezogen auf die Masse des Drehflüglers zu installierende Antriebsleistung steigt außerdem überproportional zur möglichen Maximalgeschwindigkeit.

Flugzeuge starten und landen vorteilhafterweise gegen den Wind. Dadurch wird die zum Auftrieb beitragende angezeigte Geschwindigkeit größer als die Geschwindigkeit über Grund, mit der Folge, dass wesentlich kürzere Start- und Landestrecken gebraucht werden als bei Rückenwind.

Arten des Vortriebs[Bearbeiten]

→ Hauptartikel: Luftfahrtantrieb

Zur Erzeugung des Vortriebs gibt es verschiedene Möglichkeiten, je nachdem, ob und welche Mittel mit welchem Krafterzeugungs- und -übertragungsprinzip eingesetzt werden sollen:  
ohne Eigenantrieb

Bei Segelflugzeugen, Hängegleitern und Gleitschirmen ist der Vortrieb auch ohne Eigenantrieb gewährleistet, da vorhandene Höhe verlustarm in Geschwindigkeit umgewandelt werden kann. Der Höhengewinn selbst erfolgt durch Windschlepp, Schleppflugzeuge oder Aufwinde (z. B. Thermik oder Hang- und Wellenaufwinde).

Zaschka Muskelkraft-Flugzeug von Engelbert Zaschka, Berlin 1934  
Propeller in Verbindung mit Muskelkraft

Eine extreme Form des Propellerantriebs stellen sog. Muskelkraft-Flugzeuge (HPA) dar: Ein Muskelkraftflugzeug wird nur mit Hilfe der Muskelkraft des Piloten angetrieben, unter Ausnutzung der Gleiteigenschaften der Flugzeugkonstruktion, die verständlicherweise extrem leicht sein muss. Das gilt insbesondere für Muskelkraft-Hubschrauber  
Propeller in Verbindung mit einem Elektromotor

Ein Propeller kann auch durch einen Elektromotor angetrieben werden. Diese Antriebsart wird vor allem bei Solarflugzeugen und bei Modellflugzeugen verwendet, mittlerweile auch bei Ultraleichtflugzeugen.  
Propeller in Verbindung mit Kolbenmotoren

Propeller in Verbindung mit Kolbenmotoren waren bis zur Entwicklung der Gasturbine die übliche Antriebsart. Als praktische Leistungsgrenze für Flugmotoren dieser Art wurden 4.000 PS (2.940 kW) angesehen, als erreichbare Geschwindigkeit 750 km/h. Heute ist diese Antriebsart für kleinere ein- bis zweimotorige Flugzeuge üblich. Auf Grund der besonderen Anforderungen an die Sicherheit der Motoren werden spezielle Flugmotoren verwendet.

#### Turboprop

Propellerturbinentriebwerke – kurz Turboprop – werden für Kurz- und Regionalverkehrsflugzeuge, militärische Transportflugzeuge, Seeüberwachungsflugzeuge und ein- oder zweimotorige Geschäftsreiseflugzeuge im Unterschallbereich verwendet. Weiterentwicklungen für die zukünftige Verwendung in Verkehrsflugzeugen und militärischen Transportflugzeugen sind „Unducted Propfan“, auch „Unducted Fan“ (UDF) genannt und „Shrouded Propfan“ (z. B. MTU CRISP).

#### Turbostrahltriebwerk

Turbostrahltriebwerke werden für moderne schnelle Flugzeuge bis nahe zur Schallgeschwindigkeit (bis zum Transschallgeschwindigkeitsbereich oder dem transsonischen Geschwindigkeitsbereich) oder auch für Geschwindigkeiten im Transschall- und Überschallbereich eingesetzt. Für Flüge im Bereich der Überschallgeschwindigkeit besitzen Turbostrahltriebwerke zur Leistungserhöhung oft eine Nachverbrennung.

#### Staustrahltriebwerk

Staustrahltriebwerke erreichen Hyperschallgeschwindigkeiten und besitzen nur wenige bewegte Teile. Sie funktionieren jedoch i.A. erst bei hohen Geschwindigkeiten und müssen erst anderweitig auf diese beschleunigt werden. Eine Kombination aus Turbostrahltriebwerk mit Nachverbrennung und Staustrahltriebwerk wird Turbostaustrahltriebwerk oder Turboramjet genannt.

#### Verpuffungsstrahltriebwerk

Historisch war das Verpuffungsstrahltriebwerk der Vorgänger des Raketentriebwerks, damals für Marschflugkörper. Aufgrund weniger bewegter Teile und einfacher Funktionsweise ist es leicht zu bauen; extrem hoher Verschleiß ermöglicht nur Betriebsdauern von (maximal) wenigen Stunden. Wegen des sehr lauten Betriebsgeräusches sind Verpuffungsstrahltriebwerke in vielen Ländern (auch in der BRD) verboten.

#### Raketentriebwerke

Raketentriebwerke werden bisher nur bei Experimentalflugzeugen verwendet.

#### Booster

Um den Vortrieb und besonders den Auftrieb beim Start von STOL-Flugzeugen zu erhöhen, wurden zeitweise auch Booster in Form von Strahltriebwerken (Beispiel: Varianten der Fairchild C-123) oder auch Feststoff- oder Dampftraketen (siehe auch Booster (Raketenantrieb)) eingesetzt.

Wandelflugzeug

→ Hauptartikel: Wandelflugzeug

Wandelflugzeuge, auch als Verwandlungsflugzeuge oder Verwandlungshubschrauber bezeichnet, nutzen beim Senkrechtstart die Konfiguration eines Hubschraubers. Beim Übergang zum Vorwärtsflug werden sie zum Starrflügler umkonfiguriert. Sie kombinieren so Vorteile von Drehflügler und Starrflügler. Die Wandlung erfolgt meist durch Kippen des Rotors, der dann als Zugtriebwerk arbeitet – Kipprotor oder Tiltrotor genannt (z. B. Bell-Boeing V-22). Zu den Wandelflugzeugen gehören auch Kippflügel-, Schwenkrotor-, Einziehrotor- und Stopprotorflugzeuge. Die meisten nicht durch Strahltriebwerke angetriebenen Senkrechtstarter (VTOL-Flugzeuge) gehören zu den Wandelflugzeugen.

Flugsteuerung[Bearbeiten]

Die Flugsteuerung (engl. flight controls) umfasst das gesamte System zur Steuerung von Flugzeugen um alle drei Raumachsen. Dazu gehört neben den Steuerflächen und den Steuerelementen im Cockpit auch die Übertragung der Steuereingaben.

Achsen[Bearbeiten]

Achsen eines Flugzeugs

Zur Beschreibung der Steuerung werden Achsen benannt: Querachse (engl. pitch), Längsachse (engl. roll), und Hochachse (engl. yaw). Jeder Achse ist bei einem 3-Achs-gesteuerten Flugzeug eine oder mehrere Steuerflächen zugeordnet. Eine 2-Achs-Steuerung verzichtet z. B. auf Querruder oder Seitenruder, die fehlende Komponente wird durch die Eigenstabilität ersetzt. Siehe auch: Roll-Pitch-Yaw-Winkel

Steuerflächen und Steuerdüsen[Bearbeiten]

Die Steuerung kann durch verschiedene Komponenten erfolgen: Ruder und Klappen, Strahlklappen genannte Schlitzdüsen, durch das Verstellen der Strahltriebwerke (Schubvektorsteuerung: der Abgasstrahl kann in verschiedene Richtungen bewegt werden), durch Verwindung der Tragflügel und Leitwerke oder auch durch Gewichtsverlagerung. Beim Senkrechtstarter kommen als weitere Steuerungsmöglichkeiten insbesondere im Schweben- und Transitionsflug das Kippen bzw. Schwenken von Rotoren oder Strahltriebwerken hinzu.

Ruder als Steuerflächen

Die Steuerung eines Flugzeuges sei am Beispiel der Steuerung über Ruder dargestellt:

Die Querruder am hinteren Ende der Tragflächen steuern – immer zugleich und entgegengesetzt – die Querlage des Flugzeugs, also die Drehung um die Längsachse, das Rollen.

Die Höhenruder am hinteren Ende des Flugzeugs regulieren die Längsneigung, auch Nicken oder Kippen genannt, indem der Anstellwinkel verändert wird.

Das Seitenruder – beim konventionellen Starrflügelflugzeug am hinteren Ende des Flugzeugs – dient der Seitensteuerung, auch Wenden oder Gieren genannt.

Trimmruder am Höhenruder dienen der Höhentrimmung. Größere Flugzeuge haben auch Trimmruder für Quer- und Seitenruder.

Spoiler dienen der Begrenzung der Geschwindigkeit im Sinkflug und der Verminderung des Auftriebs.

Das Flugzeug kann simultan um eine oder mehrere dieser Achsen drehen.

Das Höhenruder ist in der Regel hinten am Flugzeugrumpf angebracht, ebenso das Seitenruder, diese Kombination wird als Heckleitwerk bezeichnet. Abweichend davon kann die Höhensteuerung auch vorne platziert sein (Canard).

Höhen- und Seitenruder können auch kombiniert werden wie beim V-Leitwerk.

Die Funktion der Querruder kann durch gegenläufigen Ausschlag der Höhenruder ersetzt werden.

Alle Arten von Trimmrudern dienen der Stabilisierung der Flugzeuglage und erleichtern dem Piloten die Flugsteuerung. Bei modernen Flugzeugen übernimmt der Autopilot die Kontrolle der Trimmruder.

Die Hochauftriebshilfen werden beim Starten, im Steigflug und zum Landeanflug benutzt. An der Hinterkante der Flügel befinden sich die Hinterkantenauftriebshilfen oder Endklappen (flaps), die im Gegensatz zu den Rudern immer synchron an beiden Tragflügeln verwendet werden. Größere Flugzeuge und STOL-Flugzeuge haben meist auch noch Nasenauftriebshilfen in Form von Vorflügeln (Slats), Krügerklappen oder Nasenklappen (Kippnasen), die analog zu den an der hinteren Tragflächenkante gelegenen Landeklappen an der vorderen Tragflächenkante ausfahren. Durch die Klappen kann die Wölbung des Tragflügelprofils so verändert werden, dass die Abrissgeschwindigkeit gesenkt wird und auch beim langsamen Landeanflug oder im Steigflug der Auftrieb erhalten bleibt.

Für die Begrenzung der Geschwindigkeit im Sinkflug werden auf den Tragflächen angebrachte sogenannten Brems-/Störklappen, „Spoiler“ genannt, verwendet. Im ausgefahrenen Zustand vermindern sie den Auftrieb an den Tragflächen (Strömungsablösung). Durch den verringerten

Auftrieb ist ein steilerer Landeanflug möglich. Spoiler werden auch zur Unterstützung der – in bestimmten Flugbereichen auch als Ersatz für – Querruder verwendet. Nach der Landung werden die Spoiler voll ausgefahren, so dass kein (positiver) Auftrieb mehr wirken kann. Dies geschieht meist durch einen Automatismus, der unter anderem durch das Einfedern des Hauptfahrwerks bei der Landung eingeleitet wird.

Es gibt auch Steuerflächen mit mehrfachen Funktionen:

Flaperons: arbeiten sowohl als Klappen als auch als Querruder

Spoilerons: arbeiten sowohl als Spoiler als auch als Querruder

Elevons: arbeiten sowohl als Höhenruder als auch als Querruder, insbesondere beim Nurflügel-Flugzeug

Neben der konventionellen Anordnung der Steuerflächen existieren, wie vorher angedeutet, auch Sonderformen:

Das Canard („Entenflugzeug“) hat das Höhenruder vorne, beispielsweise Gyroflug SC01 Speed-Canard

Der Nurflügel hat kein separates Höhenruder, beispielsweise der Northrop B-2 Bomber

Die Boxwing-Tragfläche verwendet ein kombiniertes Höhen-/Querruder, Seitenruder existieren in Form von Störklappen an den äußeren Flächenenden.

Steuerelemente[Bearbeiten]

Steuerelemente sind diejenigen Hebel und Pedale, die im Cockpit vom Piloten betätigt werden können und zur Steuerung des Flugzeugs dienen. Steuerknüppel, Steuerhorn oder Sidestick

Steuerknüppel, Steuerhorn oder Sidestick dienen zur Steuerung der Querlage und der Längsneigung und steuern das Querruder und das Höhenruder.

Der Steuerknüppel eines Flugzeugs dient zum gleichzeitigen Steuern von Querneigung und Längsneigung. Er befindet sich vor dem Unterbauch des Piloten und wird normalerweise mit einer Hand gehalten.

Das Steuerhorn ist eine andere Einheit zur Steuerung von Flugzeugen um die Längs- und Querachse. Angeordnet ist es im Cockpit zentral vor dem Piloten und verfügt über Haltegriffe für beide Hände. Dabei werden die Kräfte, die während des Fluges auf das Flugzeug wirken, in Form von Widerstand und Ausschlag auf die Steuereinheit übertragen.

Ein Sidestick ist ein Steuerknüppel, der nicht zentral vor dem Piloten, sondern seitlich angeordnet ist und nur mit einer Hand bedient wird. Seitenruderpedale

Die Pedale zur Seitensteuerung betätigen das Seitenruder und in der Regel am Boden auch die Bremsen. Bei Segelflugzeugen wird die Radbremse (wenn vorhanden) meist durch Ziehen des Bremsklappenhebels betätigt.

Trimmung

Zur dauerhaften Trimmung dienen ein Trimmrad oder ein Trimmhebel zum Ausgleich von Kopf- oder Schwanzlastigkeit (Höhentrimmung), eine Trimmeinheit zum Ausgleich seitlicher Kräfteunterschiede, z. B. bei mehrmotorigen Flugzeugen zur Kompensation eines Motorausfalls (Seitentrimmung).

Signalübertragung[Bearbeiten]

Die Übertragung der Steuersignale kann erfolgen

mechanisch durch Stangen oder Seile

hydromechanisch durch Hydraulikleitungen

elektrisch durch fly-by-wire oder

fiberoptisch durch Lichtleiter (fly-by-light)

Instrumente zum Erkennen der Lage im Raum[Bearbeiten]

Seine Lage im Raum erkennt der Flugzeugführer entweder durch Beobachtung der Einzelheiten des überflogenen Gebiets und des Horizonts oder durch Anzeigeinstrumente (Flugnavigation). Bei schlechter Sicht dient der künstliche Horizont der Anzeige der Fluglage in Bezug auf die Nickachse, also den Anstellwinkel des Flugzeugrumpfes und bezüglich der Rollachse, der sogenannten Querlage (Banklage). Die Himmelsrichtung, in die das Flugzeug fliegt, zeigt der magnetische Kompass und der Kurskreisel. Magnetischer Kompass und Kurskreisel ergänzen sich gegenseitig, da der Magnetkompass bei Sink-, Steig- und Kurvenflügen zu Dreh- und Beschleunigungsfehlern neigt, der Kurskreisel jedoch nicht. Der Kurskreisel hat jedoch keine eigene „nordsuchende“ Eigenschaft und muss mindestens vor dem Start (in der Praxis auch in regelmäßigen Abständen beim Geradeausflug) mit dem Magnetkompass kalibriert werden. Der Wendezeiger dient zur Anzeige der Drehrichtung und zur Messung der Drehgeschwindigkeit des Flugzeugs um die Hochachse (engl. rate of turn). Er enthält meistens eine Kugellibelle, die anzeigt, wie koordiniert eine Kurve geflogen wird.

Für die Höhensteuerung sind mindestens zwei Instrumente wichtig: Die absolute Höhe in Bezug auf die Meereshöhe wird über den barometrischen Höhenmesser dargestellt, die relative Änderung der Höhe, die sogenannte Steigrate bzw. Sinkrate, ausgedrückt als



Höhenunterschied pro Zeiteinheit, bekommt der Flugzeugführer über das Variometer signalisiert. Zusätzlich wird bei größeren Flugzeugen im Landeanflug die absolute Höhe über Grund über den Radarhöhenmesser angezeigt.

Weitere Klassifizierungen[Bearbeiten]

Neben der nahe liegenden Klassifizierung nach der Bauweise oder der Antriebsart haben sich weitere Klassifizierungen etabliert.

Klassifizierung nach Verwendungszweck[Bearbeiten]

Zivilflugzeuge[Bearbeiten]

Zivilflugzeuge dienen der zivilen Luftfahrt, dazu gehört die allgemeine Luftfahrt und der Linien- und Charterverkehr durch die Fluggesellschaften (Airlines). Zivilflugzeuge werden hauptsächlich nach folgendem Schema klassifiziert:

Die ersten Flugzeuge waren Experimentalflugzeuge. Experimentalflugzeuge, auch Versuchflugzeuge genannt, dienen dem Erforschen von Techniken oder dem Testen von Forschungserkenntnissen im Bereich der Luftfahrt.

Sehr früh in der Geschichte des Flugzeugs entstanden auch die Sportflugzeuge. Ein Sportflugzeug ist ein Leichtflugzeug zur Ausübung einer sportlichen Tätigkeit, entweder zur Erholung oder bei einem sportlichen Wettkampf.

Noch vor dem Ersten Weltkrieg kam es zur Erprobung und zum Bau des Passagierflugzeugs. Passagierflugzeuge dienen dem zivilen Personentransport und werden auch als Verkehrsflugzeug bezeichnet. Kleinere Passagierflugzeuge werden auch als Zubringerflugzeuge bezeichnet. Speziell für Geschäftsreisende entworfene kleine Passagierflugzeuge sind die Geschäftsreiseflugzeuge, für die auch der engl. Ausdruck Bizjet verwendet wird.

Ein Frachtflugzeug ist ein Flugzeug zum Transport von (kommerzieller) Fracht. Flugzeugsitze sind daher nur für die Mannschaft eingebaut, meist enthalten sie heute ein Transportsystem für Paletten und Flugzeugcontainer.

Eine Unterkategorie des Frachtflugzeugs ist das Postflugzeug. Frühe Postflugzeuge konnten auch dem Transport einzelner Personen dienen.

Für den Bereich der Land- und Forstwirtschaft werden spezielle Flugzeuge verwendet, die Dünger, bodenverbessernde Stoffe und Pflanzenschutzmittel in Behältern mitführen können und über Sprühdüsen, Streuteller oder ähnliche Einrichtungen verbreiten können. Sie werden allgemein als Agrarflugzeuge bezeichnet.

Feuerlöschflugzeuge, auch „Wasserbomber“ genannt, sind Flugzeuge, die Wasser und Löschadditive in ein- oder angebauten Tanks mitführen und über Schadfeuern abwerfen können.

Es gibt unter dem Begriff Rettungsflugzeug (amtlich „Luftrettungsmittel“ genannt) verschiedene unterschiedliche Kategorien wie Rettungshubschrauber, Intensivtransporthubschrauber, Notarzteinsatzhubschrauber oder Flugzeuge zur Rückholung von Patienten aus dem Ausland. Unter den Überbegriff Search and Rescue (SAR) fallen Flugzeuge, die zum Suchen und Retten von Unfallopfern verwendet werden.

Es gibt zahlreiche Sonderbauformen wie z. B. Forschungsflugzeuge mit spezieller Ausrüstung (spezielles Radar, Fotokameras, sonstige Sensoren).

Experimentalflugzeug

Sportflugzeug: Ultraleichtflugzeug Sky-Arrow

Passagierflugzeug – Geschäftsreiseflugzeug Pilatus PC-12

Frachtflugzeug Airbus A300-600ST Beluga

Postflugzeug

Feuerlöschflugzeug

Sanitätsflugzeug: Inneres eines Ambulanzflugzeugs

Militärflugzeuge[Bearbeiten]

Militärflugzeuge sind Flugzeuge, die der militärischen Nutzung unterliegen. Ganz sauber ist die Grenze jedoch nicht immer zu ziehen. Viele Flugzeuge erfahren sowohl militärische als auch zivile Verwendung. Militärflugzeuge werden nach folgenden Verwendungszwecken unterschieden:

Ein Jagdflugzeug ist ein in erster Linie zur Bekämpfung anderer Flugzeuge eingesetztes Militärflugzeug. Heute spricht man eher vom Kampfflugzeug, da die Flugzeuge dieser Kategorie keiner eindeutigen Aufgabe zugeordnet werden können. Sie werden für den Luftkampf, die militärische Aufklärung, die taktische Bodenbekämpfung und/oder andere Aufgaben genutzt.

Ein Bomber ist ein militärisches Flugzeug, das dazu dient, Bodenziele mit Fliegerbomben, Luft-Boden-Raketen und Marschflugkörpern anzugreifen.

Ein Verbindungsflugzeug ist ein kleines Militärflugzeug, mit dem in der Regel Kommandeure transportiert werden. Es kann außerdem der Gefechtsfeldaufklärung dienen (heute nur noch bei Truppenübungen), als kleineres Ambulanzflugzeug dienen oder für Botendienste eingesetzt werden. Heute werden als Verbindungsflugzeug meistens leichte Hubschrauber eingesetzt.

Luftbetankung bezeichnet die Übergabe von Treibstoff von einem Flugzeug zu einem anderen während des Fluges. Üblicherweise ist das Flugzeug, das den Treibstoff zur Verfügung stellt, ein speziell für diese Aufgabe entwickeltes Tankflugzeug.

Ein Aufklärungsflugzeug ist ein Militärflugzeug, das für die Aufgabe konstruiert, umgebaut oder ausgerüstet ist, Informationen für die militärische Aufklärung zu beschaffen. Manchmal werden Aufklärungsflugzeuge auch als Spionageflugzeuge bezeichnet.

Ein Schlachtflugzeug, auch Erdkampfflugzeug genannt, ist ein militärischer Flugzeugtyp, der besonders für die Bekämpfung von Bodenzielen vorgesehen ist. Dieser Typus stellt eine eigene Flugzeugart dar, die ganz spezifische taktische Aufgaben erfüllen soll. Da die Angriffe in niedrigen bis mittleren Flughöhen stattfinden und mit starkem Abwehrfeuer zu rechnen ist, werden besondere Schutzmaßnahmen ergriffen, wie Panzerung der Kabine und Triebwerke gegen Bodenfeuer. Transportflugzeuge, die mit seitlich ausgerichteten Maschinenwaffen oder gar Rohrartillerie ausgerüstet sind, nennen sich Gunship. Drehflügelflugzeuge in der Rolle von Erdkampfflugzeugen werden als Kampfhubschrauber bezeichnet.

Ein Trainer ist ein Flugzeug, das zur Ausbildung von Piloten benutzt wird.

Transportflugzeuge sind besondere Frachtflugzeuge, die für den militärischen Lastentransport entwickelt werden. Sie müssen robust, zuverlässig, variabel für den Personen-, Material- oder Frachttransport geeignet sowie schnell ein- und ausladbar sein. Transportiert werden können, auch in Kombination, zum Beispiel Hilfsgüter, Fallschirmspringer, Fahrzeuge, Panzer, Truppen oder Ausrüstung.

Die Klassifikation ist in der Praxis nicht immer streng zwischen zivil und militärisch zu trennen, denn manche Zweckbestimmung kann unabhängig vom Einsatz gegeben sein. Beispielsweise können Fracht- bzw. Transportflugzeuge je nach Fracht, Sanitätsflugzeuge je nach Arzt/Patient und Trainer je nach Lehrer/Schüler sowohl im Zivil- als auch im Militärbereich vorkommen.

Jagdflugzeug: Mikojan-Gurewitsch MiG-29

Bomber: Boeing B-52

Verbindungsflugzeug: Alouette III der Schweizer Armee

Tankflugzeug: KC-135R Stratotanker während einer Luftbetankung

Trainer: Pilatus PC-7 der schweizerischen Luftwaffe

Transportflugzeug: Transall C-160D

Aufklärungsflugzeug: Lockheed SR-71B Blackbird

Erdkampfflugzeug / Kampfhubschrauber: AH-64 Apache Longbow

Klassifizierung nach Struktur des Flugzeugs[Bearbeiten]

Flugzeuge, die starre Tragflügel besitzen, werden häufig auch nach der Anzahl und Lage der Tragflügel zum Rumpf kategorisiert.

Ein Eindecker ist ein Flugzeug mit einer einzigen Tragfläche bzw. einem Paar Tragflügeln. Eindecker werden wiederum unterteilt in

Tiefdecker, bei denen die Unterseite der Tragfläche mit der Unterseite des Rumpfes abschließt;

Mitteldecker, bei denen die Tragfläche in der Mitte der Rumpfseiten angeordnet ist;

Schulterdecker, bei denen die Tragflächen auf oder in der Oberseite des Rumpfes angeordnet sind;

Hochdecker, bei denen die Tragfläche über der Oberseite des Rumpfes verstrebt angeordnet sind.

Mitteldecker

## Schulterdecker

Doppeldecker ist die Bezeichnung für ein Flugzeug, das zwei vertikal gestaffelt angeordnete Tragflächen besitzt. Eine Sonderform des Doppeldeckers ist der „Anderthalbdecker“. Um die Zeit des Ersten Weltkriegs gab es auch Dreidecker.

Doppelrumpfflugzeuge besitzen zwei Rümpfe, sie sind gewissermaßen die Katamarane unter den Flugzeugen. Jeder Rumpf besitzt hierbei in der Regel ein eigenes Cockpit. Damit nicht zu verwechseln sind Flugzeuge mit einem doppelten Leitwerksträger, die jedoch nur einen Rumpf aufweisen, der meistens als Rumpfgondel ausgebildet ist.

Asymmetrische Flugzeuge sind ein sehr seltener Flugzeugtyp, das bekannteste Exemplar ist die Blohm & Voss BV 141 von 1938. Hier ist die Flugzeugkanzel auf der Tragfläche, während der Propeller und Motor den Rumpf alleine besetzen. Die Tragflächen sind asymmetrisch ausgebildet.

Als Canard oder Entenflugzeug wird ein Flugzeug bezeichnet, bei dem das Höhenleitwerk nicht konventionell am hinteren Ende des Flugzeugs montiert ist, sondern vor der Tragfläche an der Flugzeugnase; das Flugbild erinnert an eine fliegende Ente. Sind im Extremfall beide Tragflächen annähernd gleich groß, wird diese Auslegung auch als Tandemflügel bezeichnet.

Ein Nurflügel ist ein Flugzeug ohne ein separates Höhenruder, bei dem es keine Differenzierung zwischen Tragflächen und Rumpf gibt. Bildet der Rumpf selbst den Auftriebskörper und hat dieser nicht mehr die typischen Dimensionen eines Tragflügels, wird er als Lifting Body bezeichnet. Die Vereinigung dieser beiden Konzepte nennt man Blended Wing Body.

## Doppeldecker

### Flugzeug Doppelleitwerksträger

Doppelrumpfflugzeug F-82 mit je einem Cockpit in jedem Rumpf

Asymmetrisches Flugzeug: Blohm & Voss BV 141

Canard: Gyroflug SC01

Nurflügel: Northrop B-35

Lifting-Body-Flugzeuge

Dreidecker

Boxwing

Ein Wasserflugzeug ist ein Flugzeug, das für Start und Landung auf Wasserflächen konstruiert ist. Es hat meist unter jeder der beiden Tragflächen einen leichten, bootartigen Schwimmer. Bei Flugbooten ist der gesamte Rumpf schwimmfähig. Wasserflugzeuge und Flugboote können nur vom Wasser aus starten oder im Wasser landen. Sind diese Flugzeuge mit (meist einziehbaren) Fahrwerken versehen, mit denen sie auch vom Land aus starten und auf dem Land landen können, werden sie Amphibienflugzeuge genannt.

Wasserflugzeug

Flugboot

Amphibienflugzeug

Klassifizierung nach Start- und Landeeigenschaften[Bearbeiten]

Starrflügelflugzeuge und einige Typen der Drehflüglern benötigen eine mehr oder weniger präparierte Start- und Landebahn einer gewissen Länge. Die Ansprüche reichen von einem ebenen Rasen ohne Hindernisse bis zur asphaltierten oder betonierten Piste.

Flugzeuge, die mit besonders kurzen Start- und Landebahnen auskommen, werden als Kurzstartflugzeug oder STOL-Flugzeuge typisiert.

Flugzeuge, die senkrecht starten und landen können, sind Senkrechtstarter oder VTOL-Flugzeuge. Sie benötigen gar keine Start- und Landebahn, sondern nur einen festen Untergrund ausreichender Größe, der ihr Gewicht tragen kann, und auf dem der Abwind (engl. downwash), der durch das VTOL-Flugzeug erzeugt wird, nicht allzu viel Schaden anrichtet, z. B. ein Helipad.

VTOL-Flugzeuge, die auf dem Boden senkrecht nach oben stehend starten und landen, sind Heckstarter.

STOL-Flugzeug Dornier Do 27

Senkrechtstarter X-22a

Heckstarter Lockheed X-45

Unbemannte Flugzeuge[Bearbeiten]

Aufklärungsdrohne Luna der Bundeswehr

Im zivilen Bereich sind unbemannte Flugzeuge meistens als Modellflugzeug gebräuchlich und werden über Funkfernsteuerungen gesteuert, selten über Programmsteuerungen.

Unbemannte Flugzeuge im militärischen oder staatlichen Einsatz werden Drohnen genannt. Das Spektrum reicht hier von Modellflugzeugen zur Zieldarstellung für Flugabwehrkanonen über unbemannte Aufklärungsflugzeuge bis hin zu unbemannten bewaffneten Kampfflugzeugen (Kampfdrohnen). Im staatlichen Bereich werden Drohnen von Polizei und Zoll zur Tätersuche und Verfolgung eingesetzt, häufig mit Video- und Wärmebildkameras, für die bisher bemannte Polizeihubschrauber eingesetzt werden. Die Steuerung erfolgt dabei ebenfalls über Funkfern- oder Programmsteuerung.

Während Drohnen in der Regel wiederverwendbar sind, werden unbemannte Flugzeuge mit fest eingebauten Sprengköpfen als Marschflugkörper bezeichnet.

Geschichte[Bearbeiten]

→ Hauptartikel: Geschichte der Luftfahrt und Chronologie der Luftfahrt

Die Flugpioniere[Bearbeiten]

1810 bis 1811 konstruierte Albrecht Ludwig Berblinger, der berühmte Schneider von Ulm, seinen ersten flugfähigen Gleiter, führte ihn jedoch der Öffentlichkeit über der Donau unter ungünstigen Windverhältnissen vor und stürzt unter dem Spott der Zuschauer in den Fluss. Dass sein Flugzeug flugfähig war, wurde 1986 nachgewiesen.

Der englische Gelehrte Sir George Cayley (1773 bis 1857) untersuchte und beschrieb als erster in grundlegender Weise die Probleme des aerodynamischen Flugs. Er löste sich vom Schwingenflug und veröffentlichte 1809 bis 1810 einen Vorschlag für ein Fluggerät „mit angestellter

Fläche und einem Vortriebsmechanismus". Er beschrieb damit als erster das Prinzip des modernen Starrflügelflugzeugs. Im Jahr 1849 baute er einen bemannten Dreiecker, der eine kurze Strecke flog.

Der Russe Alexander Moschaiski baute ein Flugzeug mit einem Dampfmaschinenantrieb, mit dem er zwischen 1882 und 1886 mehrere Flugversuche unternahm. Das Flugzeug konnte vom Boden abheben, verlor jedoch in der Folge an Geschwindigkeit und sackte ab. Seine verbesserte Version, die mit mehr Leistung ausgestattet war, wäre nach der Schlussfolgerung des ZAGI (getestet 1982) flugfähig. Zu dem Flug ist es jedoch durch den Tod des Konstrukteurs nicht mehr gekommen.

Gleitermodelle, wie sie Otto Lilienthal flog  
Otto Lilienthal und Clement Ader

Der Flugpionier Otto Lilienthal (1848–1896) führte erfolgreiche Gleitflüge nach dem Prinzip „schwerer als Luft“ durch und unterschied sich von zahlreichen Vorläufern dadurch, dass er nicht einen einzigen Flug versuchte, sondern nach ausführlichen theoretischen und praktischen Vorarbeiten deutlich über 1.000-mal gesegelt ist. Die aerodynamische Formgebung seiner Tragflügel erprobte er auf seinem „Rundlaufapparat“, der von der Funktion her ein Vorgänger der modernen Windkanäle war.

Clement Ader hat mit seiner Eole den ersten (ungesteuerten) motorisierten Flug in der Geschichte ausgeführt. Bei der Eole handelte es sich um einen freitragenden Nurflügel-Eindecker, der von einer auf eine vierblättrige Luftschaube wirkenden 4-Zylinder-Dampfmaschine angetrieben wurde. Die Eole hob am 9. Oktober 1890 zu ihrem einzigen Flug ab, flog ca. 50 m weit, stürzte ab und wurde dabei zerstört.

Einen der ersten gesteuerten Motorflüge soll der deutsch-amerikanische Flugpionier Gustav Weißkopf im Jahr 1901 über eine Strecke von einer halben Meile zurückgelegt haben. Hierzu gab es lediglich Zeugenaussagen, aber keinen fotografischen Beweis.

Karl Jatho hat sich, in ihm zugeordneten handschriftlichen Notizen, „Luftsprünge“ mit seinem motorisierten Jatho-Drachen ab dem 18. August 1903 zugeschrieben, die von zunächst ca. 18 m, später bis ca. 60 m reichten. Der Zeitpunkt der Entstehung dieser Notizen und der Zeitpunkt ihrer Veröffentlichung sind unklar; ebenso unklar ist der Status von Zeugenaussagen zu diesen Luftsprüngen, die im August 1933, also 30 Jahre später, erfolgt sein sollen. Für 1907 belegte Flugversuche mit dem Jatho-Drachen scheiterten.[10]

Wright Flyer  
Gebrüder Wright



Die herausragende Leistung der Gebrüder Wright bestand darin, als erste ein Flugzeug gebaut zu haben, mit dem ein erfolgreicher, andauernder, gesteuerter Motorflug möglich war, und diesen Motorflug am 17. Dezember 1903 auch durchgeführt zu haben.[11] Darüber hinaus haben sie ihre Flüge genauestens dokumentiert und innerhalb kurzer Zeit in weiteren Flügen die Tauglichkeit ihres Flugzeuges zweifelsfrei bewiesen. Von herausragender Bedeutung ist, dass Orville Wright bereits 1904 mit dem Wright Flyer einen gesteuerten Vollkreis fliegen konnte. Am Rand sei bemerkt, dass der Wright Flyer dem Typ nach ein „Canard“ war, sich also die Höhensteuerung vor dem Haupttragwerk befand.

Samuel Pierpont Langley, ein Sekretär des Smithsonian-Instituts versuchte einige Wochen vor dem Wright-Flug, sein „Aerodrome“ zum Fliegen zu bringen. Obwohl sein Versuch scheiterte, behauptete das Smithsonian-Institut einige Zeit, die Aerodrome wäre die erste „flugtaugliche Maschine“. Der Wright Flyer wurde dem Smithsonian Institut mit der Auflage gestiftet, dass das Institut keinen früheren motorisierten Flug anerkennen dürfe. Diese Auflage wurde von den Stiftern formuliert, um die frühere Darstellung des Instituts, Langley hätte mit der Aerodrome den ersten erfolgreichen Motorflug durchgeführt, zu unterbinden. Diese Auflage führte immer wieder zu der Vermutung, dass es vor den Wright Flyern erfolgreiche Versuche zum Motorflug gegeben habe, deren Anerkennung aber im Zusammenhang mit der Stiftungsaufgabe unterdrückt worden sei.

Die ersten Motorflugzeuge waren meistens Doppeldecker. Versuchsweise wurden auch mehr als drei Tragflächen übereinander angeordnet. Eine solche Mehrdeckerkonstruktion stammte von dem Engländer Horatio Frederick Phillips. Mit dem Fünzigdecker „Horatio Phillips No. 2“ gelang ihm im Sommer 1907 der erste Motorflug in England.

Erste Ärmelkanalüberquerung

Im Jahr 1909 setzte Europa weitere praktische Meilensteine in der Geschichte des Flugzeugs. Am 25. Juli 1909 überquerte Louis Blériot mit seinem Eindecker Blériot XI als erster mit einem Flugzeug den Ärmelkanal. Sein Flug von Calais nach Dover dauerte 37 Minuten bei einer durchschnittlichen Flughöhe von 100 Metern. Blériot konnte somit den von der englischen Zeitung Daily Mail für die erste Kanalüberquerung ausgelobten Geldpreis entgegennehmen. Mit der Blériot XI wurde ihr Konstrukteur „Vater der modernen Eindecker“. Der Erfolg der Maschine machte ihn zum ersten kommerziellen Flugzeughersteller.

Vom 22. bis zum 29. August 1909 fand mit der „Grande Semaine d’Aviation de la Champagne“ eine Flugschau bei Reims statt, die mehrere Rekorde bescherte: Henri Farman flog eine Strecke von 180 Kilometern in drei Stunden. Blériot flog die höchste Fluggeschwindigkeit über die 10-Kilometer-Strecke mit 76,95 km/h. Hubert Latham erreichte auf einer „Antoinette“ des Flugzeugkonstruktors Lévassieur mit 155 m die größte Flughöhe.

1910 gelingt dem französischen Ingenieur Henri Fabre mit dem von ihm konstruierten Canard Hydravion der erste Flug mit einem Wasserflugzeug.  
Monocoque

1912 erfindet Louis Béchereau die Monocoque-Bauweise für Flugzeuge. Die Rümpfe anderer Flugzeuge bestanden aus einem mit lackiertem Stoff überzogenen Gerüst. Das von Béchereau entworfene Deperdussin-Monocoque-Rennflugzeug besaß jedoch einen Stromlinienrumpf aus einer Holzschale ohne inneres Gerüst. Neu war auch die „DEP“-Steuerung, bei der auf dem Steuerknüppel für die Nickbewegung ein Steuerrad für die Rollbewegung saß, ein Prinzip, das heute noch vielfach Verwendung findet. Als Triebwerk besaß das Flugzeug einen speziellen Flugzeugmotor, den Gnôme-Umlaufmotor. Die Deperdussin Monocoques waren die schnellsten Flugzeuge ihrer Zeit.

Ein wesentlicher technischer Durchbruch gelingt kurz vor dem Ersten Weltkrieg dem russischen Konstrukteur und Piloten Igor Iwanowitsch Sikorski, der später eher als Hersteller von Flugbooten und Konstrukteur von Hubschraubern in den USA bekannt wird. 1913 bis 1914 beweist er mit den ersten von ihm konstruierten „Großflugzeugen“, dem zweimotorigen Grand Baltiski, dem viermotorigen Russki Witjas und dessen Nachfolger, dem viermotorigen Ilja Muromez, dass solche großen Flugzeuge sicher und stabil fliegen können, selbst wenn ein oder zwei Motoren abgestellt sind oder ausfallen.

Der Erste Weltkrieg[Bearbeiten]

Während des Ersten Weltkrieges erkannten die Militärs den Wert der Luftaufklärung. Zugleich wollten sie den Gegner an einer Aufklärung hindern. Das Flugzeug entwickelte sich zur Waffe, und die Grundlagen des Luftkrieges mit Propellerflugzeugen wurden gelegt. Die zu Anfang des Krieges noch weit verbreiteten Flugzeuge mit Druckpropeller wurden durch die wendigeren und schnelleren Maschinen mit Zugpropeller ersetzt.[12] Hierzu trug bei, dass die Synchronisierung der Bordmaschinengewehre mit dem Propeller über ein Unterbrechergetriebe entwickelt wurde, so dass man mit der starren Bewaffnung durch den eigenen Propellerkreis schießen konnte. Auf diese Weise konnte der Pilot mit dem Flugzeug den Gegner anvisieren, was den Einsatz von Maschinengewehren im Luftkampf wesentlich erfolgreicher machte. Aus den Flugzeugen wurden Granaten, Flechettes und darauf folgend erste spezielle Spreng- und Brandbomben abgeworfen. Dabei sollten zunächst die Soldaten in den feindlichen Linien und später auch Fabriken und Städte getroffen werden.

Während des Ersten Weltkrieges wurde eine Flugzeugindustrie aus dem Boden gestampft, es entstanden die ersten Flugplätze und die Technik des Flugfunks wurde entwickelt. Durch den Einsatz von neuen Metallen (Aluminium) wurden Flugzeugmotoren immer leistungsfähiger.

1915 erprobte Hugo Junkers das erste Ganzmetallflugzeug der Welt, die Junkers J 1. Hugo Junkers baute 1919 auch das erste Ganzmetall-Verkehrsflugzeug der Welt, die Junkers F 13, deren Konstruktionsprinzipien richtungweisend für folgende Flugzeuggenerationen wurden.

Zwischenkriegszeit[Bearbeiten]

Während des Ersten Weltkrieges war die Flugzeugproduktion stark angekurbelt worden. Nach diesem Krieg mussten die Flugzeughersteller ums Überleben kämpfen, da nicht mehr so viele Militärflugzeuge gebraucht wurden. Gerade in Europa gingen viele der ehemaligen Flugzeughersteller in Konkurs, wenn es ihnen nicht gelang, ihre Produktion auf zivile Güter umzustellen. In den USA waren Kampfflugzeuge geradezu zu Schleuderpreisen zu kaufen. Ehemalige Piloten von Kampfflugzeugen mussten sich eine neue Beschäftigung suchen.  
Kommerzielle zivile Luftfahrt

Junkers F 13

Junkers Ju 52/3m

Sowohl in den USA als auch in Europa entstanden viele neue zivile Dienste und Luftfahrtgesellschaften, wie z. B. die Luft Hansa 1926. Die bekanntesten Passagierflugzeuge dieser Zeit waren die Junkers F 13, die Junkers G 38, die Dornier Wal, die Handley Page H.P.42 und die Junkers Ju 52/3m.  
Langstreckenflüge

Curtiss NC-4

Die große Herausforderung nach dem Krieg waren Langstreckenflüge, vor allem die Überquerung des Atlantik. Diese Aufgabe kostete einige Menschenleben, bis eines von drei in Neufundland gestarteten Curtiss-Flugbooten der US-Navy, die Curtiss NC-4, nach 11 Tagen am 27. Mai 1919 in Lissabon landete.

Die Vickers Vimy von Alcock und Brown nach der Bruchlandung in Clifden

Fieseler „Storch“ (ab 1936)

In der Zeit vom 14. bis 15. Juni 1919 gelingt den britischen Fliegern Captain John Alcock und Lieutenant Arthur Whitten Brown der erste Nonstop-Flug über den Atlantik von West nach Ost. Ihr Flugzeug war ein zweimotoriger modifizierter Bomber Typ Vickers Vimy IV mit offenem Cockpit.

Charles Lindbergh gelingt zwischen 20. und 21. Mai 1927 mit seinem Flugzeug „Ryan NYP“ Spirit of St. Louis der erste Nonstop-Alleinflug von New York nach Paris über den Atlantik. Er gewinnt damit den seit 1919 ausgelobten Orteig Prize. Allein dieser Überflug brachte der US-amerikanischen Flugzeugindustrie und den US-amerikanischen Fluggesellschaften einen deutlichen Aufschwung. Eine von Daniel Guggenheim

finanzierte Reise Lindberghs durch alle US-Bundesstaaten führte im ganzen Land zum Bau von Flugplätzen. Am 12. April 1928 gelingt die Transatlantik-Überquerung von Ost (Baldonnel in Irland) nach West (Greenly Island – Neufundland) durch Hermann Köhl, James Fitzmaurice und Ehrenfried Günther Freiherr von Hünefeld mit einer modifizierten Junkers W 33.

Flugboote

Ab Ende der 20er Jahre beginnt das Zeitalter der großen Flugboote, deren bekannteste Vertreter die Dornier Do X und Boeing 314 waren. Haupteinsatzbereich waren weite Transatlantik- und Pazifikflüge.

Mit der Flugbootkombination Short Mayo war ab 1937 in England für Transatlantikflüge experimentiert worden. Der Sinn der Short-Mayo-Kombination war, mit einem leicht betankten Flugboot, in diesem Fall einer Short-S.21, ein schwerbeladenes Wasserflugzeug (eine Short-S.20) auf Flughöhe zu tragen und dort auszuklinken. Diese Kombination sollte das Verhältnis zwischen Leistung, Nutzlast und Treibstoff optimieren.

Katapultflugzeuge

Als Pionier im Katapultflugzeugbau gilt Ernst Heinkel, der 1925 eine Abflugbahn (noch kein Katapult) mit Flugzeug auf das japanische Schlachtschiff Nagato aufsetzte und erfolgreich persönlich in Dienst nahm.

Auf wenigen großen Passagierschiffen wie der Bremen wurden mit dem Aufkommen der Katapulttechnik Katapultflugzeuge eingesetzt, die mittels eines Dampfkatapults gestartet wurden. Die Flugzeuge dienten meist zur schnellen Postbeförderung, wie die Heinkel He 12 und die Junkers Ju 46. Im militärischen Bereich wurden Katapultflugzeuge hauptsächlich für die Luftaufklärung eingesetzt. Kleine Maschinen, wie die Arado Ar 196, wurden von großen Kriegsschiffen aus eingesetzt und große Katapultflugzeuge, wie die Dornier Do 26, wurden in den 1930er Jahren von der Lufthansa für den Transatlantik-Luftpostverkehr von Flugstützpunktschiffen aus eingesetzt und im Zweiten Weltkrieg als Transportflugzeuge und See-Fernaufklärer.

Höhenflugzeuge

Bereits ab 1937 begann die deutsche Luftwaffe mit dem Bau von Höhenflugzeugen, diese waren mit Druckkabinen ausgestattet und erreichten Höhen zwischen 12.000 und 15.000 m. Die bekanntesten Vertreter waren die Junkers Ef 61, später die Henschel Hs 130 und die Junkers Ju 388. Sie dienten als Höhenaufklärer bzw. Höhenbomber, allerdings wurden sie nur in wenigen Exemplaren gebaut. Als erstes Passagierflugzeug mit einer Druckkabine erlaubte die Boeing B-307 einen Flug über dem Wetter und damit eine wesentliche Komfortsteigerung für die Passagiere. 1939 bis 1945[Bearbeiten]

Mit Druckkabine: Boeing B-307

## Spitfire Mk. XVIII

Am 20. Juni 1939 startet mit der Heinkel He 176 das erste Versuchsflugzeug mit regelbarem Flüssigkeitsraketenantrieb. Dieses Flugzeug besitzt auch als erstes als Rettungsmittel eine abtrennbare Cockpitkapsel mit Bremsschirm. Der Pilot musste sich im Notfall dann allerdings von der Kapsel befreien und mit dem Fallschirm abspringen. Das Flugzeug erreichte eine maximale Geschwindigkeit von ca. 750 km/h.

Die Heinkel He 178 war das erste Flugzeug der Welt, das von einem Turbinen-Luftstrahltriebwerk angetrieben wurde. Der Erstflug erfolgte am 27. August 1939.

Durch die Luftschlacht um England geriet das Jagdflugzeug zunächst in den Mittelpunkt. Die beiden herausstechenden Typen dieser Zeit waren die Messerschmitt Bf 109 und die Supermarine Spitfire, die durch Verbesserungen der Aerodynamik und auch der Leistungsfähigkeit der Motoren im Laufe ihrer Entwicklung wesentlich in ihrer Leistungsfähigkeit gesteigert wurden.

Die Heinkel He 280 war das erste zweistrahlige Flugzeug der Welt; es besaß zwei Turbostrahltriebwerke. Es war auch das erste Flugzeug, das mit einem Schleudersitz ausgerüstet war. Der Erstflug fand am 2. April 1941 statt. Seinen ersten Einsatz als Rettungsgerät hatte der Schleudersitz wohl am 13. Januar 1943, als sich der Pilot aus einer He 280 katapultieren musste, die wegen Vereisung flugunfähig geworden war.

## Messerschmitt Bf 109

Die Alliierten setzten für den strategischen Luftkrieg große viermotorige Bombenflugzeuge ein. Da Angriffe wegen der deutschen Luftverteidigung oft nachts geflogen werden mussten hielt die Avionik in den Luftkrieg Einzug. Geräte zur Positionsbestimmung, wie das GEE-Verfahren, Radar zur Navigation und zur Nachtjagd und auch Funkgeräte zogen in Einsatz ein. Der Kampf führte zu immer größeren Flughöhen und Geschwindigkeiten. Um die Bombenflugzeuge wirksam schützen zu können wurden Jagdflugzeuge mit großer Reichweite entwickelt, etwa die North American P-51

## North American P-51 Mustang

## Mitsubishi Zero

Die Arado Ar 234B-2 von 1944 war der erste vierstrahlige Bomber mit einem Autopiloten (PDS), gefolgt. Kurz vor Kriegsende entstand der zweistrahlige Nurflügler Horten Ho IX. Die Außenhülle war mit einer Mischung aus Kohlenstaub und Leim beschichtet, um Radarstrahlen zu absorbieren.

Mit der Messerschmitt Me 163 wurde Mitte 1944 ein Raketengleiter, ausgehend von einem Segelflugzeug, zur Einsatzreife entwickelt. Als Objektschutzzäger eingesetzt bestach das Flugzeug durch seine Steigleistung, war jedoch aufgrund der Einsatzumstände praktisch wirkungslos.

Während dieser Zeit steigerte sich die Fluggeschwindigkeit bis in den transsonischen Bereich. Umfangreiche Forschungsprojekte, insbesondere auf deutscher Seite, führten zu grundlegenden Entdeckungen der in der Hochgeschwindigkeitsaerodynamik, etwa die Anwendung der Tragflächenpfeilung oder die Entdeckung der Flächenregel. Produkt dieser Bemühungen war der schwere Strahlbomber Junkers Ju 287 mit negativer Pfeilung der Tragflächen und Anwendung der Flächenregel.

Die Japaner errangen mit ihrer leichten und wendigen Mitsubishi Zero Sen im Pazifik zunächst herausragende Erfolge. Erst spätere Entwicklungen der USA erlaubten es, gegen den Gegner mit Erfolgsaussicht vorzugehen. Als die Lage Ende 1944 für Japan immer aussichtsloser wurde, ersannen sie Kamikaze-Flugzeuge, deren Piloten das voll Sprengstoff gepackte Flugzeug selbstmörderisch auf alliierte Schiffe lenkten.

Messerschmitt Me 163

Kamikazeflugzeug Yokosuka MXY-7

B-29 „Enola Gay“

1945 bis heute[Bearbeiten]

1947 durchbrach die Bell X-1 als erstes Flugzeug offiziell die Schallmauer, inoffiziell war das nach Berichten deutscher Kampfflieger aus Versehen bereits 1945 mit einer Messerschmitt Me 262 gelungen. Die X-1 war ein Experimentalflugzeug mit Raketenantrieb welches von einer B-29 in ca. 10 km Höhe getragen und dort ausgeklinkt wurde, woraufhin der Raketenantrieb zündete und das Flugzeug die Schallmauer durchbrach.

Mit dem Kalten Krieg und dem Koreakrieg (1950–1953) begann das Wettrüsten der Strahlflugzeuge. Am 8. November 1950 gelang der weltweit erste Sieg in einem Luftkampf zwischen Strahlflugzeugen, bei dem eine MiG-15 von einer Lockheed P-80 abgeschossen wurde. Grundsätzlich waren die P-80 und Republic F-84 den sowjetischen Jets jedoch nicht gewachsen und wurden deshalb bald von der F-86 Sabre abgelöst.

Bell X-1

Lockheed P-80

North American F-86 „Sabre“

Mit der Inbetriebnahme der britischen De Havilland DH 106 „Comet“ bei der Fluggesellschaft BOAC 1952 schien das Zeitalter der Strahltriebwerke auch für Verkehrsflugzeuge anzubrechen. Allerdings waren die verfügbaren Werkstoffe den neuen Belastungen noch nicht gewachsen – der Verkehr fand jetzt in größeren Höhen statt und die wechselnde Druckbelastung führte zu Haarrissen im Rumpf. Als 1954 mehrere Maschinen dieses Typs abstürzten und die Maschinen am Boden bleiben mussten, war dieses Zeitalter in der westlichen Welt erst einmal unterbrochen. Anders im Ostblock: Mit der Tupolew Tu-104 etablierte die Sowjetunion ab 1956 erfolgreiche Liniendienste. Die Briten waren an einem Phänomen gescheitert, welches damals noch kaum erforscht war: Materialermüdung. Die Comet musste weitgehend neu konstruiert werden. Als das Nachfolgemodell D.H. 106 4B nach vier Jahren seinen Dienst wieder aufnahm, hatte Boeing mit der 707 bereits ein Strahlflugzeug für den Passagiertransport entwickelt und erfolgreich verkauft, das eine höhere Reichweite hatte und mehr als doppelt so viele Passagiere befördern konnte. Den endgültigen Erfolg bescherte der 707 ab 1962 der Einsatz der leistungsstärkeren und verbrauchsärmeren Mantelstromtriebwerke (engl. Turbofan). Anfang der 70er Jahre begann der Einzug des Großraumpassagierflugzeugs Boeing 747 „Jumbo-Jet“, dessen Dominanz in diesem Bereich wohl erst mit dem Airbus A380 abnehmen wird.

De Havilland DH 106 „Comet“

Boeing 707 mit den alten Pratt & Whitney JT3C Strahltriebwerken

Boeing 747 „Jumbo-Jet“

Mit Beginn der 50er Jahre begann die Entwicklung weitreichender strategischer Bomber, die auch Atombomben tragen konnten. Die bekanntesten Vertreter waren die Boeing B-52, Convair B-58, Myasischtschew M-4 und die Tupolew Tu-95. Die B-58 war das erste Kampfflugzeug mit einem zentralen Bordrechner, der die zahlreichen Baugruppen zusammenfasste.

Boeing B-52 „Stratofortress“

Convair B-58 „Hustler“

Tupolew Tu-95 „Bear hinter einer F/A18 Hornet“

1955 rüstete die französische Firma Sud Aviation ihren Hubschrauber Alouette II mit einer 250 kW-Turboméca-Artouste-Wellenturbine aus und baute damit den ersten Hubschrauber mit Gasturbinenantrieb.

Mit dem Hawker Siddeley Harrier begann die Serienherstellung senkrechtstartender VTOL-Flugzeuge ab 1966. Allerdings kamen fast alle anderen VTOL-Flugzeuge nicht über das Prototypenstadium hinaus. Die USA entwickeln zurzeit (2005) mit dem F-35 Joint Strike Fighter eine neue Generation von SVTOL-/VTOL-Flugzeugen.

Alouette II

Lockheed U-2 (heute TR1)

Aus der Patentschrift zum Parafoil

Harrier II

Mit dem Vietnamkrieg trafen erneut sowjetische und amerikanische Flugzeuge aufeinander. Dabei erwies sich die MIG 21 gegenüber der amerikanischen McDonnell F-4 Phantom II in vielen Fällen als überlegen. Die Boeing B-52 wurde zu großflächigen Bombardements eingesetzt. Der umfangreiche Einsatz von Hubschraubern, wie der CH-47 Chinook und Bell UH-1, wurde immer wichtiger.

Mit dem Jungfernflug der Tupolew Tu-144 am 31. Dezember 1968 und der Concorde am 2. März 1969 begann die Episode des Überschall-Passagierluftverkehrs. Die Amerikaner hatten bei konventionellen zivilen, mit Turbinenstrahltriebwerken angetriebenen Passagierflugzeugen eine Monopolstellung erreicht. Diese wollten Engländer und Franzosen durch den Bau der Concorde durchbrechen. Der gestiegene Ölpreis (er vervielfachte sich während der Ölkrise 1973 und 1979/80) machte die Concorde unwirtschaftlich. Der enorme Kraftstoffverbrauch galt als ökologisch bedenklich. British Airways und Air France - damals beide staatliche Fluggesellschaften - wurden von ihren Regierungen zum Kauf der Concorde genötigt.[13] Der letzte Flug einer Concorde fand am 26. November 2003 statt.

Die Lockheed F-117A Nighthawk der United States Air Force war das weltweit erste einsatzbereite Flugzeug, das sich die Tarnkappentechnik konsequent zunutze machte. Die erste F-117A wurde 1982 ausgeliefert. Während des Baus der F-117 wurde sie von den amerikanischen



Ingenieuren als „hoffnungsloser“ Fall bezeichnet, da sie vermuteten, dass das Flugzeug aufgrund seiner Form nie in der Lage sein würde zu fliegen. Bevor sie einen offiziellen Namen bekamen, nannten die Ingenieure und Testpiloten die unkonventionellen Flugzeuge, die während des Tages versteckt wurden, um Entdeckung durch sowjetische Satelliten zu verhindern, „Cockroaches“ (Kakerlaken). Diese Bezeichnung wird noch immer häufig benutzt, weil diese Flugzeuge nach Meinung vieler zu den hässlichsten gehören, die bislang gebaut wurden. Das Flugzeug wird auch „Wobblin Goblin“ genannt [14], speziell wegen ihrer unruhigen Flugeigenschaften bei Luftbetankungen. Es lässt sich auf Grund seiner instabilen aerodynamischen Eigenschaften nur mit Computerunterstützung fliegen.

Mit dem Raketenflugzeug SpaceShipOne gelang am 21. Juni 2004 der erste privat finanzierte suborbitale Raumflug über 100 km Höhe. Die Maschine wurde von der Firma Scaled Composites im Rahmen des Projekts Tier One entwickelt, um den Wettbewerb Ansari X-Prize der X-Prize Foundation für sich entscheiden zu können. Dieser stellte zehn Millionen Dollar für denjenigen in Aussicht, der als erster mit einem Fluggerät neben dem Piloten zwei Personen oder entsprechenden Ballast in eine Höhe von mehr als 100 Kilometer befördert und dies mit demselben Fluggerät innerhalb von 14 Tagen wiederholt.

Tupolew Tu-144

Lockheed F-117 Nighthawk

SpaceShipOne

Laufende Forschung und Zukunft[Bearbeiten]

Um der Thematik der notwendigen Treibstoffeinsparung zu begegnen, wird häufig der mögliche Einsatz von Nurflüglern diskutiert. Damit soll auch die Lärmbelastung gesenkt werden. Ein realistischer Forschungsschwerpunkt ist der erweiterte Einsatz von Leichtbauwerkstoffen wie CFK und bedingt GLARE. Auch werden neue Triebwerke mit Wärmerückgewinnung über Wärmeübertrager entwickelt. Die Nutzung aerodynamischer Erkenntnisse bei z. B. den Winglets oder den Gurney Flaps werden untersucht. Im militärischen Bereich setzen sich immer mehr die Drohnen durch und mit der Boeing AL-1 werden ganz neue Waffensysteme auf Laser-Basis erprobt.

Neueste Forschungen aus dem April 2009 der Universität Genua zeigen, dass Federn geeignet sind, den Luftwiderstand von Flugzeugen deutlich zu senken. Flugzeuge könnten mit Federn deutlich effizienter betrieben werden. Bedeutsam sind dabei die Deckfedern und ihre Rolle bei der Aerodynamik. Obwohl die Deckfedern scheinbar keine Nutzen haben, konnte Alessandro Bottaro als Leiter der Untersuchungen feststellen, dass beim Gleiten der Vögel einige der Federn im besonderen Winkeln vom Flügel abstehen und den Luftstrom in Schwingungen versetzen. Um die Auswirkungen zu untersuchen, hatten die Forscher ein zylindrisches Objekt (20 cm Durchmesser) mit synthetischen Deckfedern versehen und im

Windkanal getestet. Ergebnis war eine Reduzierung des Lufwiderstandes um 15 %. Als ähnliches Beispiel verweisen die Forscher darauf, dass ein neuer Tennisball ebenfalls schneller fliegt als ein abgenutzter Tennisball.[15]

Rekorde[Bearbeiten]

Fluggeschwindigkeit[Bearbeiten]

→ Hauptartikel: Liste der Fluggeschwindigkeitsrekorde

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die von Flugzeugen erreichten Geschwindigkeitsrekorde: Jahr Geschw. Pilot Nationalität

	Flugzeug			
1903	56 km/h	Orville Wright	USA	Flyer 1
1910	106 km/h	Leon Morane	Frankreich	Blériot XI
1913	204 km/h	Maurice Prevost	Frankreich	Deperdussin-Monocoque
1923	417 km/h	Harold J. Brow	USA	Curtiss R2C-1
1934	709 km/h	Francesco Agello	Italien	Macchi-Castoldi M.C.72 (Schwimmerflugzeug)
1939	755 km/h	Fritz Wendel	Deutschland	Messerschmitt Me 209 V1
1941	1.004 km/h	Heini Dittmar	Deutschland	Messerschmitt Me 163 (Raketenjäger)
1947	1.127 km/h			
Mach 1,015		Charles Elwood Yeager	USA	Bell X-1
1951	2.028 km/h	Bill Bridgeman	USA	Douglas Skyrocket
1956	3.058 km/h	Frank Everest	USA	Bell 52 X-2 (Rakete)
1961	5.798 km/h	Robert White	USA	North American X-15 (Raketenflugzeug)
1965	3.750 km/h	W. Daniel	USA	Lockheed SR-71 Blackbird (Düsenflugzeug)
1966	7.214 km/h	William Joseph Knight	USA	North American X-15 (Raketenflugzeug)
2004	11.265 km/h	unbemannt	USA	Boeing X-43A (Staustrahltriebwerk)

Größe[Bearbeiten]

Antonow An-225 – längstes Flugzeug der Welt

Als größtes Flugzeug der Welt gilt das Frachtflugzeug Antonow An-225 „Mrija“. Es hat die größte Länge, das höchste Startgewicht und den größten Schub aller Flugzeuge. Der Airbus A380 ist aufgrund seiner Kapazität das größte Passagierflugzeug der Welt (max. 853 Passagiere).

Dennoch ist er nicht das längste Passagierflugzeug: Die Boeing 747-8 ist mit 76,30 m das längste Passagierflugzeug der Welt. Die größte Spannweite und Höhe hatte das in den 1940er Jahren entworfene Flugboot Hughes H-4, das jedoch nie in Serie gebaut wurde.

Das leistungsfähigste Triebwerk hat die zweistrahlige Boeing 777-300 mit 512 kN Schub. Die größte Reichweite ist nur schwer festlegbar, da sie bei jedem Flugzeug durch zusätzliche Tanks (im Extremfall bis zum maximalen Startgewicht) erhöht werden kann. Das Flugzeug mit der größten serienmäßigen Reichweite ist die Boeing 777-200LR mit 17.446 km. Die größte jemals ohne nachzutanken erzielte Reichweite gehört der Voyager mit 42.212 km.

Vergleich großer Flugzeuge	A380-800	A340-600	B747-400	B777-300 ER	Hughes H-4	Antonow An-225
Länge	72,7 m	75,3 m	70,7 m	73,9 m	66,7 m	84,0 m
Spannweite	79,8 m	63,5 m	64,4 m	64,8 m	97,5 m	88,4 m
Höhe	24,1 m	17,3 m	19,4 m	18,6 m	25,1 m	18,1 m
max. Startgewicht	560 t	368 t	413 t	352 t	182 t	600 t
Reichweite	15.000 km	13.900 km	14.200 km	14.600 km	4.800 km	15.400 km
max. Passagierzahl	853	419	458	550	750	Frachtflugzeug
Schub/Leistung	4·311 kN					
	= 1244 kN	4·267 kN				
	= 1088 kN	4·274 kN				
	= 1096 kN	2·512 kN				
	= 1024 kN	8·2240 kW				
	= 17.920 kW	6·230 kN				
	= 1380 kN					

Siehe auch[Bearbeiten]

Liste von Flugzeugtypen

Literatur[Bearbeiten]

Bölkow, Ludwig (Hrsg.) – Ein Jahrhundert Flugzeuge. Geschichte und Technik des Fliegens, VDI-Verlag, Düsseldorf 1990, ISBN 3-18-400816-9

R. G. Grant – Fliegen. Die Geschichte der Luftfahrt, Dorling Kindersley, Starnberg 2003, ISBN 3-8310-0474-9

Götsch, Ernst – Einführung in die Flugzeugtechnik, Deutscher Fachverlag, Frankfurt 1971, ISBN 3-87234-041-7

Götsch, Ernst – Luftfahrzeugtechnik, Motorbuchverlag, Stuttgart 2003, ISBN 3-613-02006-8

Höfling, Oskar – Physik, Band II, Teil 1, Mechanik – Wärme, 15. Auflage, Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn 1994, ISBN 3-427-41145-1

Knauts Lexikon der Naturwissenschaften Droemersch Verlag, Th. Knaut Nachf., München und Zürich 1969.

Wie funktioniert das? Meyers erklärte Technik, Band 1. Bibliographisches Institut, Mannheim und Zürich 1963.

Weblinks[Bearbeiten]

Commons: Flugzeuge – Sammlung von Bildern, Videos und Audiodateien

Wiktionary: Flugzeug – Bedeutungserklärungen, Wortherkunft, Synonyme, Übersetzungen

Airplanes.se

Physikalische Grundlagen dargestellt vom Deutschen Aero Club

Einzelnachweise[Bearbeiten]

↑ International Civil Aviation Organization (Hrsg.): Annex 2 to the Convention on International Civil Aviation. Rules of the Air. 10. Auflage. Juli 2005, S. 1-1 (Online verfügbar, PDF, 336 kb, abgerufen am 30. Mai 2011).

↑ Das Neue Universallexikon. Bertelsmann Lexikon Verlag, 2007, ISBN 978-3-577-10298-8, S. 284.

↑ Heinz A. F. Schmidt: Lexikon der Luftfahrt. Motorbuch Verlag, 1972, ISBN 3-87943-202-3.

↑ Wilfried Kopenhagen u.a.: transpress Lexikon: Luftfahrt. 4. überarbeitete Auflage. Transpress-Verlag, Berlin 1979, S. 255.

↑ Kathrin Kunkel-Razum, Birgit Eickhoff, Bibliographisches Institut (Hrsg.): Duden. Standardwörterbuch Deutsch als Fremdsprache. 1 Auflage. Dudenverlag, Mannheim 2002 („Flugzeug [...]: Luftfahrzeug mit horizontal an den Seiten seines Rumpfes angebrachten Tragflächen.“).

↑ DWDS-Wörterbuch: Flugzeug. In: Digitales Wörterbuch der deutschen Sprache des 20. Jahrhunderts. DWDS-Projekt, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, abgerufen am 30. Mai 2011: „Luftfahrzeug, das meist aus einem mit einem Fahrwerk versehenen Rumpf mit horizontal angebrachten Tragflügeln und einem Leitwerk besteht und dessen Flugfähigkeit durch einen dynamischen Auftrieb zustande kommt“

↑ Flugwerk/Zelle gleichbedeutend verwendet, s. Tabelle S.5 (PDF; 59 kB)

↑ [http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero\\_07/corrosn\\_sb\\_table01.html](http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_07/corrosn_sb_table01.html)

↑ Jochim Scheiderer: Angewandte Flugleistung – Eine Einführung in die operationelle Flugleistung vom Start bis zur Landung, Springer-Verlag, 2008, ISBN 978-3-540-72722-4, DOI:10.1007/978-3-540-72724-8

↑ Wolfgang Leonhardt: Karl Jathos erster Motorflug 1903. Books on Demand Verlag, Norderstedt 2002. ISBN 3831134995

↑ Telegram from Orville Wright in Kitty Hawk, North Carolina, to His Father Announcing Four Successful Flights, 1903 December 17. 17. Dezember 1903. Abgerufen am 21. Juli 2013.

↑ Die Geschichte des Jagdflugzeuges

↑ faz.net: Das Aus für die Concorde

↑ to wobble = flattern, schlenkern, schwabbeln

↑ Presstext Vogelfedern sollen Flugzeuge effizienter machen