

Der große Technik-Bausatz

Flugzeugturbine Jet-Engine

Selber bauen, was Boeing,
Airbus & Co. in die Luft bringt!

Build a scale model of the engineering marvel
that keeps Boeing, Airbus & Co. in the air!



Erleben Sie Ihr Luftstrahltriebwerk in Aktion – motorisiert und voll funktionstüchtig – und verstehen Sie die Technik, die dahinter steckt!
63-teiliger Bausatz – mit Klangmodul für den Original-Jet-Sound – mit reich bebildertem Handbuch
Experience a jet engine in action – with moving parts and sound – and discover its inner workings!

RANZIS

Flugzeugturbine

Das Handbuch

Einleitung

Flugzeugturbinen wurden in den 1940er-Jahren parallel von deutschen wie britischen Ingenieuren zu militärischen Zwecken entwickelt. Der Grund war, dass Propellerflugzeuge technisch bedingt kaum Geschwindigkeiten jenseits von 700 Stundenkilometern erreichen konnten. Während im zweiten Weltkrieg nur wenige hundert Maschinen mit Turbinen ausgerüstet werden konnten, trat diese Technologie nach dem Krieg ihren weltweiten Triumphzug an.

Bereits in den frühen 1960er-Jahren kam in der zivilen Luftfahrt fast ausschließlich das sogenannte Mantelstromtriebwerk (auch als Turbofan bezeichnet) zum Einsatz, dem auch dieser Bausatz nachempfunden ist. Sein Aufbau ist auf Effizienz bei Fluggeschwindigkeiten getrimmt, die zwischen denen von Propellerflugzeugen (niedrige Geschwindigkeit) und denen von reinen Turbojets (hohe Geschwindigkeit) liegen.

Neben einer Bauanleitung enthält dieses Handbuch informative und unterhaltsame Informationen zu unterschiedlichen Arten von Flugzeugtriebwerken, Flugzeugen und weiteren Aspekten der klassischen und modernen Luftfahrt. Ich wünsche Ihnen viel Freude beim Aufbau und der Inbetriebnahme der Flugzeugturbine und eine kurzweilige Lektüre dieses Handbuchs.

Thomas Riegler im Mai 2017

Inhalt

Einleitung	2
Arten von Strahltriebwerken	4
Propeller-, Strahl-, und Raketentriebwerke im Vergleich	8
Teile eines Strahltriebwerks	13
Turbinen und ihre Einbauorte	17
Das Kerosin	20
Turbinenhersteller	22
Bauanleitung	24
Assembly Manual	25
Flugzeughersteller	34
Berühmte Düsenflugzeuge	37
Was bedeuten die Geräusche bei Start und Landung?	48
Pioniere der Luftfahrt	50
Zukunft der Luftfahrt	54

Arten von Strahltriebwerken

Man unterscheidet zwischen Ein- und Zweistrom-Strahltriebwerken. Letztere werden auch als Mantelstrom-, Bypass- oder Nebenstrom-Triebwerke bezeichnet. Andere Bezeichnungen für diese Art des Luft atmenden Flugzeugantriebs sind Turbinen-Strahltriebwerk oder Turbo-Strahltriebwerk, Gasturbinen-Flugtriebwerk und umgangssprachlich einfach Düsentriebwerk oder Düse.

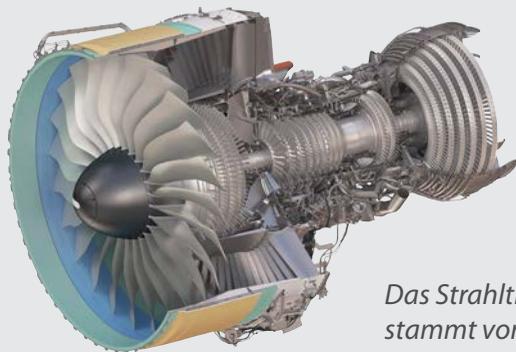
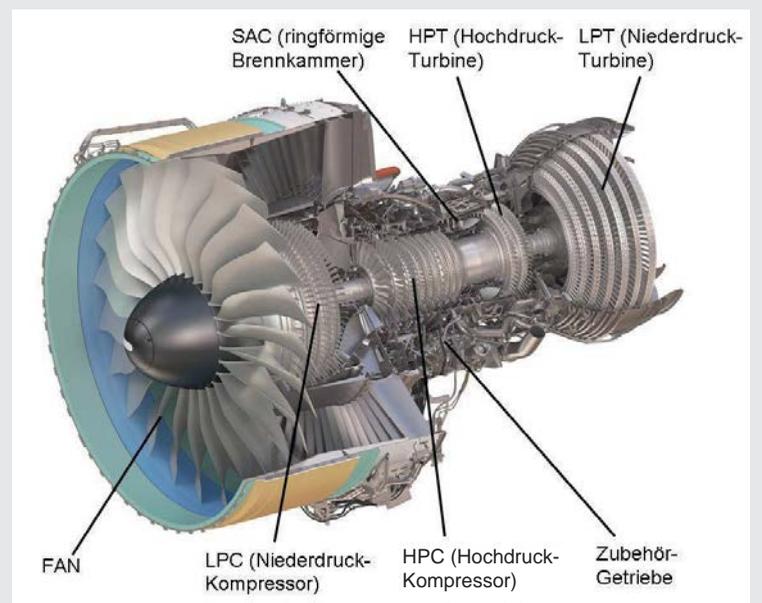
Einstrom-Strahltriebwerk (Turbojet)

Das ist die einfachste Variante eines Strahltriebwerks. Bei ihm wird die einströmende Luft verdichtet und gelangt dann in die Brennkammern, in die der Kraftstoff (meinst Kerosin) eingespritzt wird. Durch die folgende Verbrennung erhöht sich die Temperatur des Gases, das sich dadurch ausdehnt und nach hinten ausgeleitet

wird. Dabei treibt das Gas durch seine Strömungsenergie eine Turbine an, die auf einer Welle sitzt, die wiederum den Verdichter in Rotation versetzt. Der restliche Teil des heißen Gases tritt durch eine sich verengende Düse, das Strahlrohr, aus und erzeugt mit seiner Rückstoßenergie Schub und damit Vortrieb.

Aufbau eines Strahltriebwerks

Strahltriebwerke funktionieren vereinfacht gesagt nach dem Prinzip, dass sich erhitzte Luft ausdehnt. Geschieht dies in eine Richtung, wird durch die kinetische Energie Schub und damit Vortrieb erzeugt. Bei einem Turbinen-Strahltriebwerk wird zunächst über große Schaufelräder Luft angesaugt und im Inneren der Turbine weiter verdichtet. In die hinter dem Verdichter angeordneten Brennkammer wird Treibstoff eingespritzt und das Gemisch entzündet. Es erhitzt sich auf rund 1.700 Grad Celsius, dehnt sich dabei stark aus und strömt an der Rückseite mit hoher Geschwindigkeit aus der Turbine. Dabei generiert es Schub und sorgt so für den Vortrieb des Flugzeugs. Man spricht dabei auch von der Rückstoßwirkung des Abgasstrahls.



Das Strahltriebwerk GP720 stammt vom Hersteller Engine Alliance



Bauteile des Strahltriebwerks GP720 von Engine Alliance, so wie es beim Airbus A380 zum Einsatz kommt

Turbojet-Triebwerk ohne Nachbrenner

Diese einfache Art des Strahltriebwerks kam vor allem bei Militärmaschinen zum Einsatz. Die letzten Triebwerke dieses Typs wurden um 2006 gebaut. Sie sind leicht zu warten und preiswert. Nachteile: ein hoher Treibstoff-Verbrauch und eine große Lärmentwicklung.

Turbojet-Triebwerk mit Nachbrenner

Diese besonders leistungsfähigen Einstrom-Strahltriebwerke gelten seit Langem als Standardantrieb für Kampfflugzeuge und werden ausschließlich im militärischen Bereich verwendet. Bei dieser Art Turbojet-Triebwerk sitzt hinter der Turbine ein Nachbrenner, in den zusätzlicher Treibstoff eingespritzt wird, was für zusätzlichen Schub sorgt. Erst mit Hilfe von Nachbrennern können Flugzeuge mehrfache Schallgeschwindigkeit erreichen. Das letzte zivile Flugzeug, bei dem dieser Strahltriebwerkstyp eingebaut wurde, war die Concorde.



Turbojet-Strahltriebwerk

Mantelstrom-Strahltriebwerk (Turbofan)

Das Mantelstrom-Triebwerk wird auch als Turbofan bezeichnet. Es ist die heute vorherrschende Form des Strahltriebwerks und allgemeiner Standard in der zivilen Luftfahrt. Dieses Triebwerk saugt am Einlass mit Hilfe des großen Schaufelrads (dem Fan, engl. für Gebläse) Luft an, die dabei beschleunigt wird. Der Fan sitzt auf einer gemeinsamen Welle mit der hinteren Turbinenstufe und wird von dieser angetrieben. Hinter dem Fan teilt sich der Luftstrom und wird zum einen in den Verdichter und von dort in die Brennkammern geleitet, zum anderen außen um das Kerntriebwerk herum. Das ist der Mantelstrom. Er mischt sich am Ende des Triebwerks mit der heißen Luft aus der Düse und trägt in zivilen Flugzeugen mit bis zu 90 Prozent zur Gesamt-Schubkraft bei. Zudem dämpft der kühle Mantelstrom die heißen Turbinengase und sorgt so für eine deutliche Lärmreduzierung. Außerdem hat ein Mantelstrom-Strahltriebwerk einen besseren Wirkungsgrad als ein reiner Turbojet und verbraucht dadurch weniger Treibstoff. Da der Fan und der Verdichter unterschiedliche Drehzahlen erfordern, werden sie zumeist von zwei verschiedenen Wellen angetrieben: die Schaufelräder des Fans von einer axialen innen liegenden Niederdruckwelle der hinteren Turbinenstufe, der Verdichter von einer axialen Hochdruck-Hohlwelle der vorderen Gasturbine.



Teilweise demontiertes Turbofan-Triebwerk des Typs PW1100G-JM von Pratt & Whitney

Das größte Düsentriebwerk der Welt

Das größte und leistungsfähigste Strahltriebwerk der Welt trägt die Typenbezeichnung GE90-115B und stammt vom US-amerikanischen Hersteller GE Aviation. Es hat eine Länge von 7,290 Metern, einen Durchmesser von 3,429 Metern und eine Masse von 8,28 Tonnen. Das Turbofan-Triebwerk liefert eine Schubkraft von bis zu 569 kN. Seine für den Flugbetrieb zugelassene maximale Schubkraft liegt bei 513 kN. Die Luftverdichtung im Triebwerk erfolgt durch vier Nieder- und neun Hochdruckverdichter. Im Inneren des Stahltriebwerks arbeiten zudem zwei Hoch- und sechs Niederdruckturbinen.



Vor der Montage an einer Boeing 777 wird das Strahltriebwerk GE90-115B gemeinsam mit Technikern von Boeing und General Electric ersten Betriebstests unterzogen

Turbofan-Triebwerk mit Nachbrenner

Das Turbofan-Triebwerk mit Nachbrenner ist eine Lösung für Kampfflugzeuge, die im Überschallbereich unterwegs sind. Bei ihm wird nur relativ wenig kühle Luft als Mantelstrom um das Kerntriebwerk geleitet. Man spricht von einem geringen Nebenstromverhältnis. Der Mantelstrom wird zudem zur Nachbrenner-Kühlung genutzt.



Pratt & Whitney F119 Turbofan mit Nachbrenner im Testbetrieb

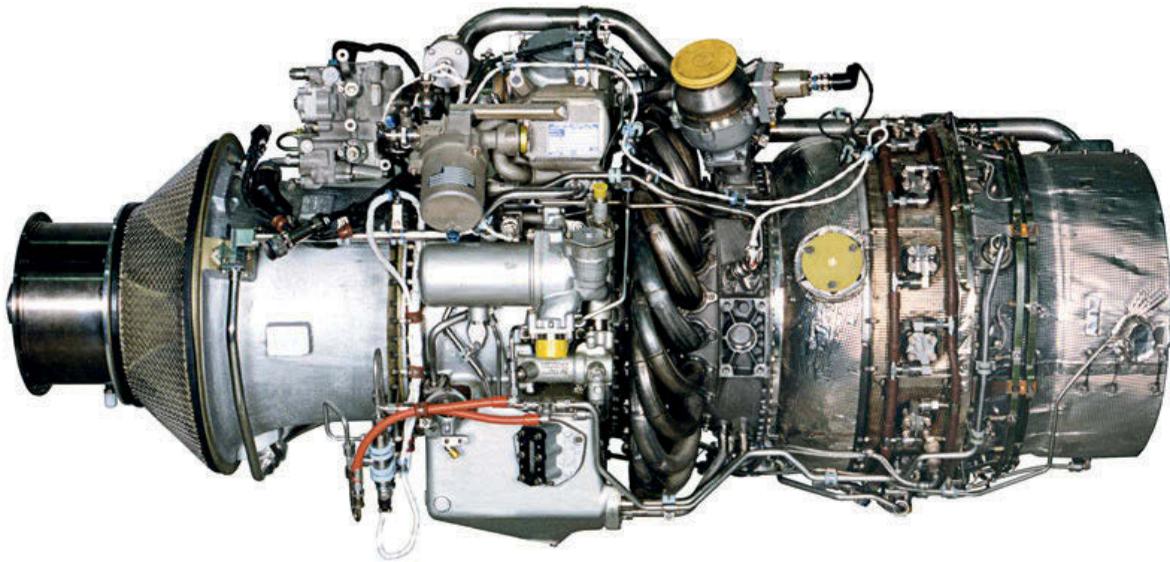


Die russische MiG-21 ist ein typischer Vertreter eines Kampfflugzeugs mit Turbojet-Antrieb

Propellerturbine (Turboprop)

Bei Turboprop-Triebwerken treibt die Turbine einen Propeller an. Etwa 90 Prozent der erzeugten Schubkraft werden dabei vom Propeller erzeugt. Der Rest an Schubkraft entsteht durch die nach hinten aus der Turbine ausgestoßenen Abgase. Die Antriebsenergie für die Luftschaube, den Propeller, wird von einer Gasturbine über eine Welle geliefert. Die angesaugte Luft wird wie bei einem Strahltriebwerk in einem Kompressor verdichtet und in der Brennkammer mit dem Treibstoff verbrannt. Das

heiße Verbrennungsgas strömt nach hinten und treibt die Turbine an. Auch der Turboprop-Antrieb arbeitet mit zwei Wellen (für Verdichter und Propeller) oder mit einer Welle und einem Untersetzungsgetriebe für den Propeller. Turboprop-Maschinen haben einen geringen Treibstoffverbrauch und sind im Kurzstreckenverkehr und bei mittleren Flughöhen bis rund 8000 Meter besonders wirtschaftlich zu betreiben. Ihre Reisegeschwindigkeit liegt bei 500 bis 700 km/h.



Turboprop-Triebwerk vom Typ PW127-TS von Pratt & Whitney



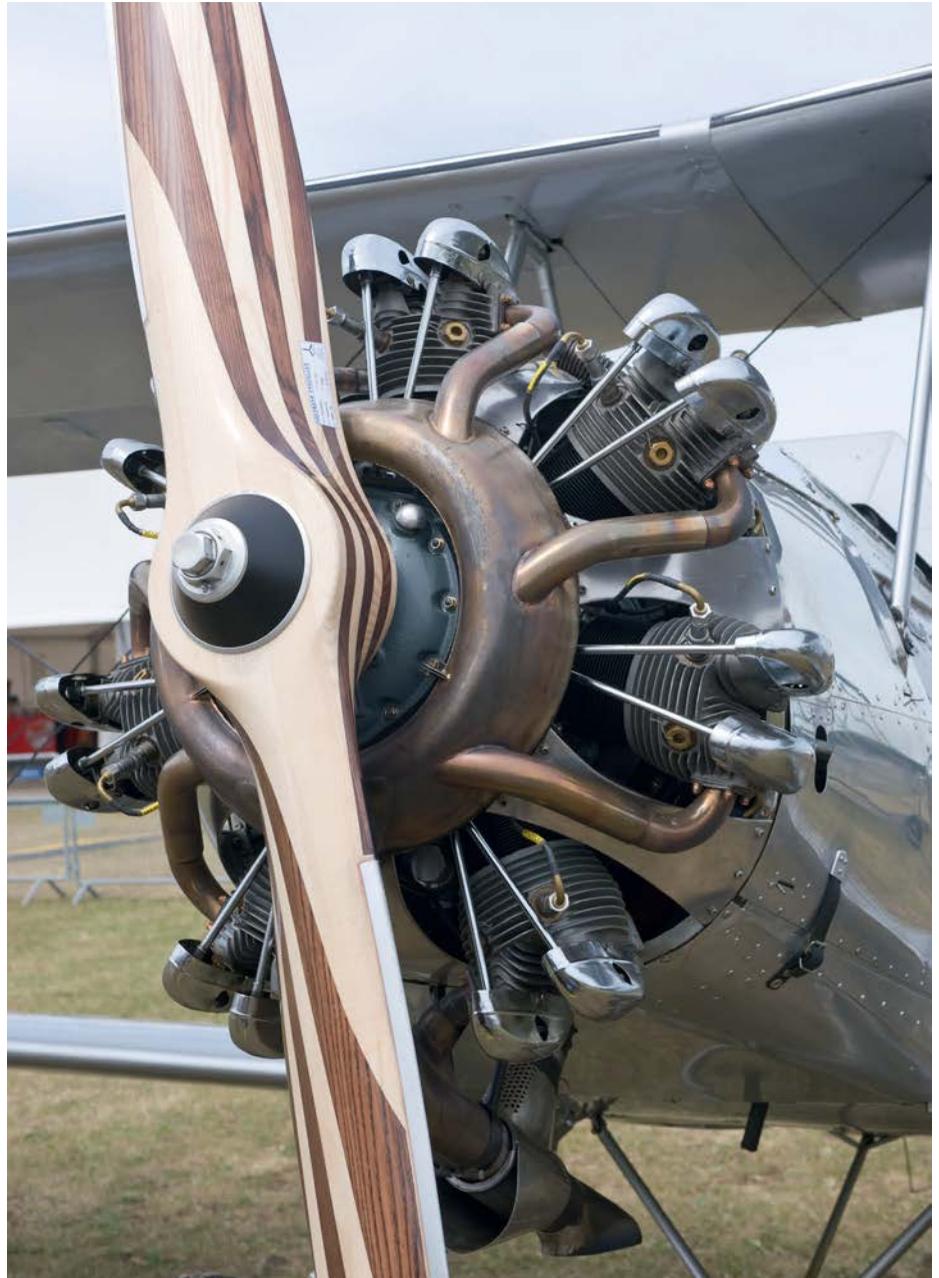
*Das Trainingsflugzeug Pilatus PC-12 wird von einem Turboprop-Triebwerk angetrieben
Bild: Pilatus Aircraft Ltd*

Propeller-, Strahl-, und Raketentriebwerke im Vergleich

Propellerantrieb

Bis weit in die 1950er-Jahre waren Flugzeuge mit Propeller allgegenwärtig. Heute findet man sie noch bei kleinen Flugzeugen für Kurzstrecken sowie bei typischen ein- und zweimotorigen Leichtflugzeugen wie etwa dem meistgebauten Flugzeug der Welt, der Cessna 172.

Der Propeller wird meist von einem Flugmotor angetrieben. Dies kann ein Reihen-, V-, Stern- oder Boxermotor sein. Anders als bei Automotoren wird bei Flugzeugmotoren höchster Wert auf Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit gelegt. So verfügen sie über zwei voneinander unabhängige Zündanlagen, die in der Regel parallel in Betrieb sind. Da Propeller mit relativ geringen Drehzahlen zu betreiben sind, weil ihre Blattspitzen bei hohen Touren Überschallgeschwindigkeit erreichen, bei der die Luftströmung abreißen würde, sind große Hubräume oder Reduktionsgetriebe üblich. In den 1950ern wurden Hubkolbenmotoren mit bis etwa 3.700 kW (rund 5000 PS) Leistung und mehr als 70 Liter Hubraum gebaut. Seit den 1960er-Jahren sind jedoch nur noch Leistungen bis rund 400 kW (544 PS) üblich. Die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit von mit Propellern angetriebenen Passagiermaschinen liegt bei 400 bis 600 km/h. Propellerantriebe produzieren in der Frühphase des Starts einen höheren Schub als vergleichbar große Strahltriebwerke. Deshalb eignen sie sich besser für kurze Start- und Landebahnen. Zudem können mit ihnen zum Teil größere Steigwinkel erreicht werden. Propellermaschinen punkten überdies mit einem geringeren Kerosinverbrauch. Sie sind oftmals auch leiser als Düsenflugzeuge.



Bei dieser einmotorigen Maschine wird der Propeller von einem Sternmotor angetrieben



Bis weit in die 1950er-Jahre waren Propellerantriebe bei Passagiermaschinen allgegenwärtig



Heute werden auch unbemannte militärische Drohnen per Propeller angetrieben



Sie beherrschten einst unsere Lüfte. Heute zählen Propeller-Verkehrsmaschinen wie die Douglas DC-3 längst zu den Veteranen



Die Militär-Maschine Airbus A400M wird von vier Turboprop-Triebwerken angetrieben. Sie ermöglichen große Steigwinkel



Riesenflugboot Do X
 Erbaut durch Dr. Ing. Claudius Dornier, Länge ca. 42 m., Flügelspannweite 48 m., Besatzung 12 Mann, Befastung 170 Personen, Höchstgeschwindigkeit 220 km., 12 Motore mit insgesamt 7200 P. S.

Das Riesenflugboot Dornier Do X von 1929 besaß zwölf V12-Motoren mit einer Gesamtleistung von 7680 PS und zwölf Propeller



Die Militär-Maschine Airbus A400M wird von vier Turboprop-Triebwerken angetrieben. Damit lässt sich auch besonders langsam fliegen

Strahltriebwerk

Seit den späten 1950er-Jahren haben sich die Strahltriebwerke in der zivilen und militärischen Luftfahrt allgemein durchgesetzt. Seit mehreren Jahrzehnten sind sie aus dem Flugverkehr nicht mehr wegzudenken. Sie erlauben bei Passagiermaschinen mühelos Reisegeschwindigkeiten von 900 km/h. Militärmaschinen können mit ihnen sogar mehrfache Schallgeschwindigkeit erreichen.

Strahltriebwerke kommen mit wesentlich weniger beweglichen Teilen aus als herkömmliche Motoren. Stattdessen findet man in ihnen eine Reihe von Schaufelrädern, mit denen die Luft von vorne angesaugt, bis etwa um den Faktor 30 verdichtet und durch eine Brennkammer geleitet wird. Das heiße Abgas tritt am hinteren Ende des Triebwerks mit hohem Druck durch eine Düse aus und schiebt das Flugzeug nach dem Rückstoßprinzip nach vorne. Ein Strahltriebwerk arbeitet grundsätzlich nach demselben Prinzip wie ein Viertaktmotor. Bei beiden Antrieben sind die Arbeitsschritte Ansaugen, Verdichten, Verbrennen und Ausstoßen. Während diese Schritte jedoch beim Kolbenmotor der Reihe nach ablaufen, vollziehen sie sich in der Gasturbine in den verschiedenen Segmenten kontinuierlich und gleichzeitig. Das Strahltriebwerk arbeitet bei höheren Geschwindigkeiten effizienter als Antriebe mit Kolbenmotor und Propeller und ist deshalb vor allem auf Langstrecken ohne Konkurrenz.



Seit Jahrzehnten sind Strahltriebwerke bei großen Passagiermaschinen Stand der Technik

Autos und Boote mit Düsenantrieb

Der Thrust SSC (Super Sonic Car) war das erste Auto, mit dem die Schallmauer durchbrochen wurde. Mit seinen beiden Rolls-Royce-Strahltriebwerken erreichte der Thrust mit dem Militärpiloten Andy Green als Fahrer am 15. Oktober 1997 die Geschwindigkeit von 1.227,985 km/h. Das ist bis heute der Geschwindigkeits-Weltrekord für Landfahrzeuge. Der 16,5 Meter lange Wagen hatte eine Leistung von rund 110.000 PS (80.800 kW).

Mit einem den Strahltriebwerken vergleichbaren Prinzip arbeiten die Wasserstrahlantriebe von Schnellbooten. Sie sind auch als Pumpenstrahl- und Jetantrieb bekannt. Bei ihnen wird Wasser unter dem Boot angesaugt und mit Druck durch ein Rohrsystem gepresst. Die Geschwindigkeit des Boots wird durch die Schubkraft des Wasserstrahls bestimmt.



Modell des Thrust SSC mit den beiden Strahltriebwerken. Das Super Sonic Car war das erste Landfahrzeug, das die Schallmauer durchbrochen hat

Raketentriebwerk

Die Strahltriebwerke von Flugzeugen benötigen Umgebungsluft, die sie ansaugen, verdichten, nach dem Einspritzen des Treibstoffs entzünden und als Abgas mit hohem Druck durch eine Düse wieder ausstoßen. So ist die maximale Flughöhe der Flugzeuge an ein Mindestmaß von Luft gebunden. Ein kurzer Abstecher mit dem Düsenjet zum Mond ist deshalb alleine aus technischen Gründen nicht möglich.

Raketenantriebe funktionieren grundsätzlich genauso wie die Strahltriebwerke unserer Flugzeuge, nämlich nach dem Rückstoßprinzip. Auch sie benötigen Treibstoff und Luft, damit eine Verbrennung stattfinden kann. Da es im Weltraum keinen Sauerstoff gibt, muss ihn die Rakete selbst mitnehmen. Dies kann auf mehrere Arten geschehen, und man unterscheidet zwischen Feststoff- und Flüssigkeitsraketen sowie Kombinationen aus beiden. Sie alle gehören zu den chemischen Raketenantrieben und sind unabhängig von ihrer Umgebung.

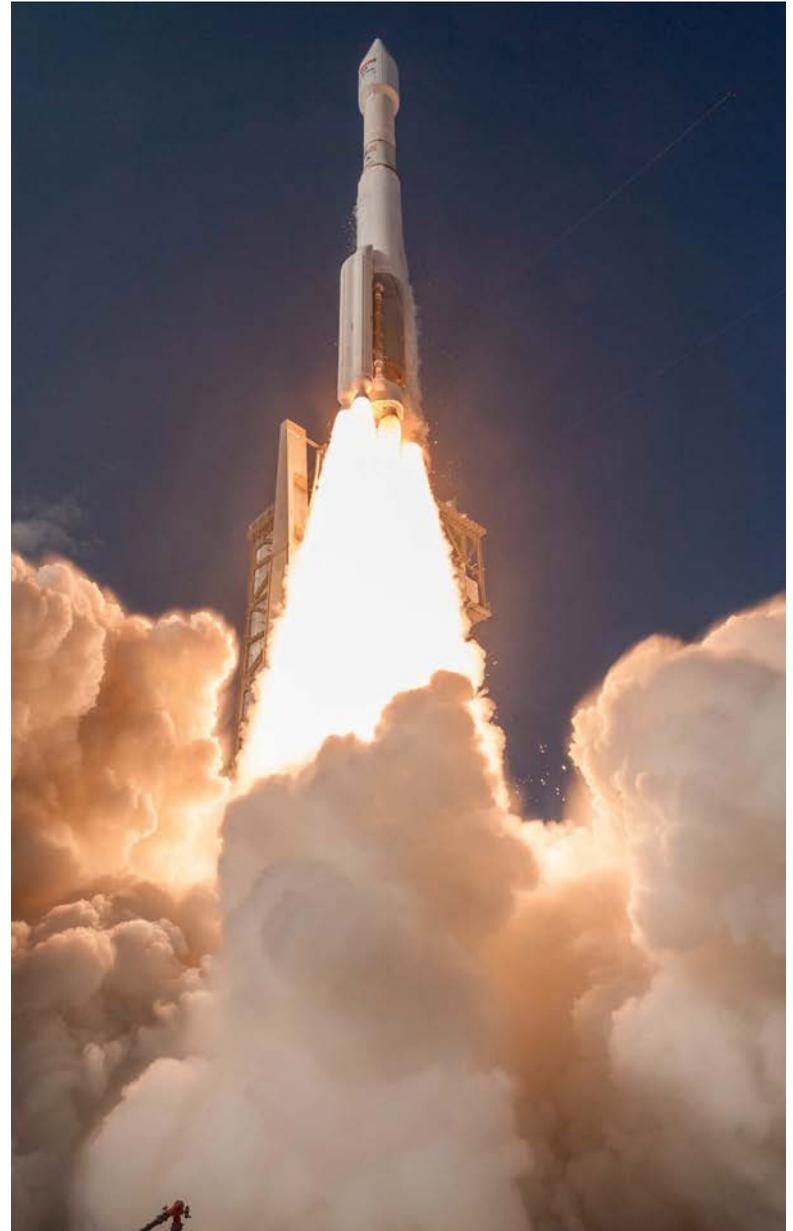
Feststofftriebwerk

Das Feststoff-Raketentriebwerk ist einfach aufgebaut und wird mit einem festen, pulver- oder pastenförmigen Treibstoff, der Reaktionsmasse, betrieben. Diese befindet sich bereits in der Brennkammer, wird dort gezündet und abgebrannt. Ist die Zündung erst einmal erfolgt, lässt sich der Verbrennungsvorgang nicht mehr stoppen. Ein bekanntes Beispiel für einen Feststoffantrieb sind die Booster des Space Shuttles. Da die Reaktionsmasse leicht zu lagern (in der Brennkammer) und relativ sicher zu transportieren ist, sind fast alle militärisch genutzten Raketen mit einem Feststoffantrieb versehen. Wegen der hohen Treibstoffkosten und der kurzen Brenndauer spielen sie in der Raumfahrt jedoch kaum eine Rolle – außer als besagte Booster.

Flüssigkeitriebwerk

Ein Flüssigkeits-Raketentriebwerk ist deutlich komplizierter aufgebaut als ein Feststofftriebwerk. Seine Vorteile machen es trotzdem zum Standardantrieb von Raketen: Man kann es nach Bedarf ein- und ausschalten und seine Schubkraft exakt steuern. Außerdem liefert es längere Brennzeiten und damit längere Reichweiten als ein Feststofftriebwerk.

Über der Brennkammer sind meist die Tanks für den Brennstoff und den so genannten Oxidator angeordnet. Als Treibstoffe



Start eines Satelliten mit einer Atlas-V-Rakete

werden zum Beispiel Kerosin, Hydrazin oder flüssiger Wasserstoff genutzt. Als Sauerstofflieferanten dienen meist flüssiger Sauerstoff, aber auch Wasserstoffperoxid oder Stickstofftetroxid. Beide Betriebsmittel werden bei großen Trägerraketen über Pumpensysteme mit Druck in die Brennkammer transportiert. Da in der Brennkammer Drücke von bis zu 300 bar und Verbrennungstemperaturen von bis zu 5000 Grad Celsius auftreten können, muss sie gekühlt werden.



Dieses HM7B-Raketentriebwerk kommt in den Raketen Ariane 4 und 5 zum Einsatz



Raketentriebwerk des Typs Vulcain 2 von Safran. Es wird seit 2005 in die Ariane 5 eingebaut

Was ist die Schallmauer?

Schallwellen sind Druckwellen, die sich je nach Temperatur unterschiedlich schnell ausbreiten. Bei 15 Grad Außentemperatur beträgt die Schallgeschwindigkeit rund 1.225 km/h. Die Schallmauer ist jener Bereich, in dem sich das Flugzeug genauso schnell bewegt wie die von ihm ausgehende Druckwelle. Weil sich in diesem Bereich der aerodynamische Widerstand (Luftdruck) stark erhöht, spricht man bildlich von der Schallmauer.

Unterhalb der Schallmauer fliegt das Flugzeug innerhalb der Druckwelle, die von ihm ausgeht. Diese breitet sich mit Schallgeschwindigkeit aus und eilt dem Flugzeug voraus. Fliegt das Flugzeug genau schnell wie der Schall, verdichtet sich die Druckwelle zur so genannten Stoßwelle. Beschleunigt das Flugzeug weiter, überholt es die eigene Druckwelle, was als lauter Überschallknall zu hören ist. Flugzeuge sind in unterschiedlichen Höhen und damit bei unterschiedlichen Temperaturen unterwegs, die Schallgeschwindigkeit verringert sich mit zunehmender Höhe und sinkender Temperatur. In rund 10.000 Metern Flughöhe, der Standardatmosphäre, liegt die Schallgeschwindigkeit bei minus 50 Grad Außentemperatur bei 1080 km/h oder Mach 1,0.

Die Schallmauer wurde nachweislich erstmals am 14. Oktober 1947 vom Testpiloten Charles Chuck Yeager mit dem Experimental-Raketenflugzeug Bell X-1 durchbrochen.



Hat ein Flugzeug die Schallmauer durchbrochen, bewegt es sich schneller als der Schall. Dann wird der Wolkenscheibeneffekt sichtbar

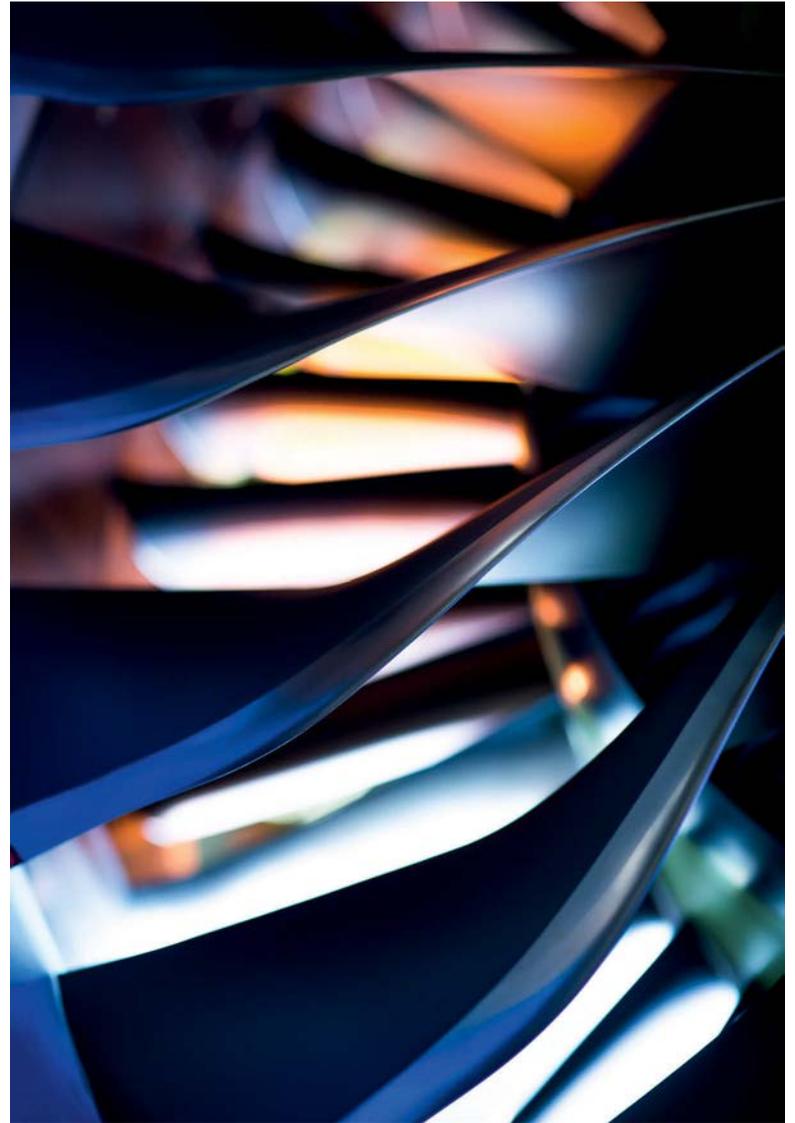
Teile eines Strahltriebwerks

Triebwerkseinlauf

Der Triebwerkseinlauf dient zur Verringerung der Geschwindigkeit der angesaugten Luft. Die in den meisten Fällen abgerundete Einlauflappe begünstigt den Strömungsverlauf beim Langsamflug. Die mittig am Spinner angebrachte Markierung zeigt die Drehung des Fanrads an, das die Luft ansaugt. Dieses Schaufelrad wird über eine eigene koaxiale Niederdruckwelle von der Niederdruckturbinen (Zweiwellen-Triebwerk) angetrieben oder über ein Untersetzungsgetriebe, das die Drehzahl deutlich verringert, von der Hochdruckwelle der Hochdruckturbinen (Einwellen-Triebwerk).



Ein LEAP-Mantelstromtriebwerk – hier zu Testzwecken – an einer Boeing 747-400



Detailaufnahme der Luftschaufeln eines LEAP-Laufwerks



Der Fan (auch Bläser oder Schaufelrad genannt) eines Mantelstrom-Strahltriebwerks des Typs LEAP von Safran

Kompressor

Bei Mantelstromtriebwerken (Turbofan) wird der Luftstrom hinter dem Fan- oder Schaufelrad aufgeteilt. Der größere Teil der vom Fan zugeführten Luft wird als Mantelstrom um das eigentliche Triebwerk herum geleitet. Der Rest wird im Kompressor verdichtet. Der Verdichter besteht aus mehreren Stufen mit fest stehenden Statorringen und mit Schaufeln besetzten Rotorringen. Die Turbokompressoren aktueller Triebwerke setzen sich aus acht bis 14 Stufen zusammen. In ihnen wird die Luft bis zum 45-Fachen des Umgebungsdrucks komprimiert.



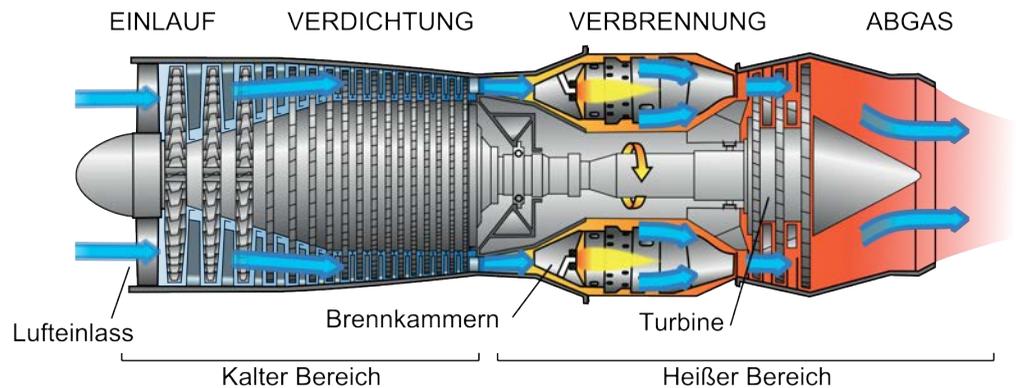
Rotor-Schaufeln des Niederdruck-Kompressors des Zweiwellen-Strahltriebwerks SaM146 von Safran



Montage einer Hochdruck-Turbineneinheit eines Strahltriebwerks

Brennkammer

In den Brennkammern wird der hoch verdichteten Luft über feine Düsen Brennstoff zugeführt. Der Verbrennungsprozess wird über eine Zündkerze in Gang gesetzt und läuft kontinuierlich ab. Da die Brennkammerwände den dabei entstehenden hohen Temperaturen auf Dauer nicht standhalten würden, wird durch Bohrungen so genannte Sekundärluft in die Brennkammern geleitet, die sich als Film auf die Brennkammerwände legt (Filmkühlung). Ein Großteil der Luft aus dem Verdichter wird als Sekundärluft genutzt.



Aufbau einer Flugzeugturbine. Die Brennkammern nehmen im Strahltriebwerk nur wenig Raum ein

Turbine

Nach dem Austritt aus den Brennkammern strömt das Heißgas mit hohem Druck durch die Turbine. Sie ist bei modernen Triebwerken ebenfalls aus mehreren Stufen mit Turbinenrädern und Statorn aufgebaut. Durch die Strömungsgeschwindigkeit des Abgases werden die Turbinenstufen in Drehung versetzt. Sie treiben über koaxiale Wellen den Fan (Niederdruckwelle, innen in der hohlen Hochdruckwelle) und den Verdichter an. Die stark belasteten Schaufeln der Turbinenräder bestehen aus hochfesten Legierungen auf Titan- oder Wolfram-Basis und sind teilweise keramisch beschichtet.



Turbinenrad eines Zweiwellen-Strahltriebwerks SaM146 von Safran

Schubdüse

Aus der hinten am Strahltriebwerk angeordneten Düse tritt das heiße Verbrennungsgas mit hoher Geschwindigkeit aus. Um die Geschwindigkeit des ausströmenden heißen Gases zu erhöhen, verengt sich der Querschnitt der Schubdüse zu ihrem Ende hin. Das Gas verlässt die Düse mit hohem Druck und großer Strö-

mungsgeschwindigkeit und sorgt so für Schub beziehungsweise Vortrieb. Der größte Teil des Schubs wird allerdings durch den äußeren Luftstrom (Mantelstrom) erzeugt, der außen um das Kerntriebwerk geleitet wird und um die Düse herum ausströmt.



LEAP-Turbine mit konifizierter Schubdüse

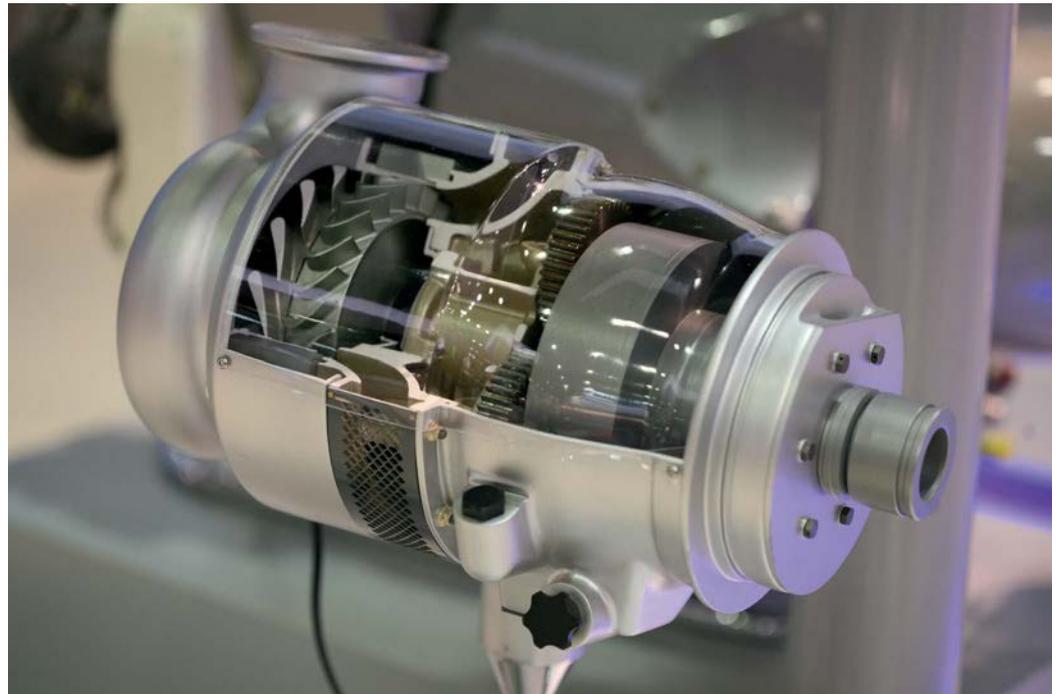


Ein so genannter Chevron-Kragen mit Zackenmuster soll zu einer besseren Vermischung der vergleichsweise kühlen, langsamen Luft des Mantelstroms und der heißen, schnellen Gase aus der Düse beitragen

Turbinen-Startsystem

Strahltriebwerke laufen nicht von selbst an, sondern müssen fremderregt werden. Dazu dient meist Druckluft. Sie wird mit Kompressoren, so genannten pneumatischen Startsystemen, erzeugt und auf die Schaufeln der Turbine gelenkt. Sobald das Strahltriebwerk rund 20 Prozent seiner Nenndrehzahl erreicht hat, kann es von selbst weiter bis auf Leerlaufdrehzahl hochfahren. Die Druckluft für das Anlasssystem wird entweder vom Flughafen zur Verfügung gestellt oder von der Flugzeug-eigenen Hilfsturbine geliefert.

Pneumatisches Startsystem, Typ ATS-337, eines Zweiwellen-Strahltriebwerks SaM146 von Safran



Turbinen und ihre Einbauorte

Inwing

1949 wurde mit der DeHavilland Comet das erste zivile Düsenflugzeug vorgestellt. Seine vier Strahltriebwerke waren paarweise in den Tragflächenwurzeln eingebaut. Das gab der Maschine zwar ein futuristisches Aussehen, hatte aber viele Nachteile. So forderte der Inwing-Einbau eine aufwendige Tragflächenkonstruktion und einen Kompromiss bei den Lufteinlassschächten. Die Comet erreichte deshalb nur durchschnittliche Flugleistungen. Zudem erschwerten die eingebauten Triebwerke die Wartungsarbeiten. Ein Austausch der Strahltriebwerke gegen andere Modelle war nicht möglich. Und nicht zuletzt sorgten die Inwing-Triebwerke für einen hohen Lärmpegel in der Passagierkabine.



Bei der DeHavilland Comet sind die Strahltriebwerke in den Tragflächen eingebaut

Tail-mounted

Bei kleinen Flugzeugen passen die Strahltriebwerke meist nicht unter die Tragflächen. Stattdessen werden sie hinten am Rumpf angebracht. Dies erlaubt eine einfachere Tragflächenkonstruktion. Außerdem kann der Rumpf niedriger und das Fahrwerk leichter gehalten werden. Für die Montage am Heck spricht auch der geringere Luftwiderstand der Maschine. Allerdings verlagert sich bei diesen Flugzeugen der Schwerpunkt nach hinten. Dass die Turbinen nur einen geringen Abstand zueinander haben, kann bei unruhigen Luftverhältnissen zu instabilen Flügen führen. Vertreter von Flugzeugen mit Tail-mounted Triebwerken sind die Fokker 100 oder die Douglas DC-9.



Die Douglas DC-9 verfügt über zwei in der so genannten Tail-mounted-Bauweise links und rechts am Heck angebrachte Strahltriebwerke

Underwing

Bei der Underwing-Montage werden die Triebwerke an die Unterseite der Tragflächen gehängt, die entsprechend stabil ausgeführt sein müssen. Diese Variante ist ab Maschinen mittlerer Größe allgemeiner Standard. Sie erlaubt den schnellen Zugang zu den Triebwerken, was Wartungsarbeiten erleichtert. Die so

montierten Strahltriebwerke können auch sehr schnell gegen andere ausgetauscht werden, etwa wenn ein Flugzeug nachträglich mit sparsameren oder leistungsfähigeren Triebwerken ausgerüstet werden soll.



Heute ist ab Flugzeugen mittlerer Größe wie diesen Airbussen die Underwing-Montage der Triebwerke allgemein üblich



© AIRBUS S.A.S. 2016 - photo by A. PECCHI

AIRBUS

Engine-Over-Wing

Bei dieser Variante sind die Triebwerke auf den Tragflächen aufgesetzt. Damit wird der nach unten abstrahlende Lärm abgeschirmt. Allerdings wird es in der Kabine lauter. Diese Turbinenmontage erlaubt ein niedrigeres Fahrwerk. Die Tragflächen sorgen dafür, dass während des Rollens auf der Rollbahn so gut wie nie Schmutz angesaugt wird. Ein Vertreter dieser eher seltenen Flugzeugbauart ist die deutsche VFW 614.



Eine deutsche VFW 614 mit auf den Tragflächen montierten Triebwerken

Zwei, drei oder vier Triebwerke?

Bei der Entwicklung moderner Flugzeuge geht der Trend zu weniger, dafür aber leistungsfähigeren und größeren Triebwerken. Deshalb sind heute auch bei großen Verkehrsmaschinen nur noch zwei Strahltriebwerke Usus. Ein weiterer Aspekt: Sie sind billiger als vier kleinere Triebwerke. Bei zweistrahligen Flugzeugen müssen die Triebwerke so stark ausgelegt sein, dass sie auch mit nur einem fliegen können, wobei besonderes Augenmerk auf den Steigflug gelegt wird.



Großraumflugzeuge wie der Airbus A380 sind noch mit vier Strahltriebwerken ausgestattet

Vier Triebwerke sind heute vor allem noch bei sehr großen Maschinen wie dem Airbus A380 anzutreffen. Solche Flugzeuge müssen den Ausfall eines Triebwerks verkraften und auch mit drei Düsen sicher fliegen können.

Drei Triebwerke werden bei Flugzeugen immer unbeliebter, denn das mittlere Triebwerk hat sich als aerodynamisch ungünstig erwiesen und verursacht überdies einen hohen Konstruktionsaufwand. Zudem erschwert dieses im Heck fest eingebaute Triebwerk die Wartungsarbeiten und den Austausch. Dreistrahlige Maschinen sind deshalb nur noch selten anzutreffen.



Die Boeing 727 besitzt drei am und im Heck montierte Strahltriebwerke

Das Kerosin

Herstellung

In der Raffinerie wird Rohöl zu höherwertigen Brennstoffen verarbeitet. Durch ein Destillationsverfahren werden die verschiedenen Kraftstoffe gewonnen, die sich durch ihren Siedepunkt unterscheiden. Er liegt bei Benzin etwa zwischen 70 und 150 Grad Celsius, bei Kerosin bei 150 bis 280 Grad und bei Diesel bei 250 bis 350 Grad. Kerosine werden in einem engen Fraktionierschnitt aus dem Mitteldestillat der Erdölraffination gewonnen. Anschließend werden Additive beigegeben, um es als Treibstoff für Flugzeugmotoren tauglich zu machen.

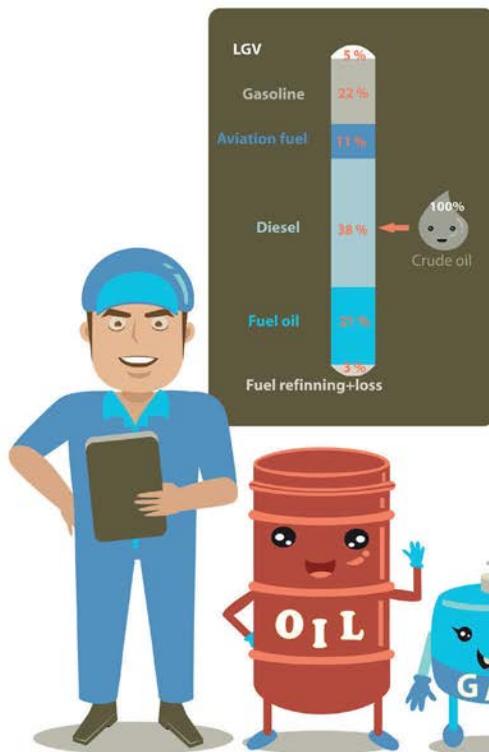
Kerosin ist sozusagen ein Abfallprodukt auf dem Weg zum Diesel. Das macht seine Herstellung preiswerter, was bei den enormen Mengen von benötigtem Kerosin für die Fluggesellschaften entscheidend ist.

Kerosinverbrauch

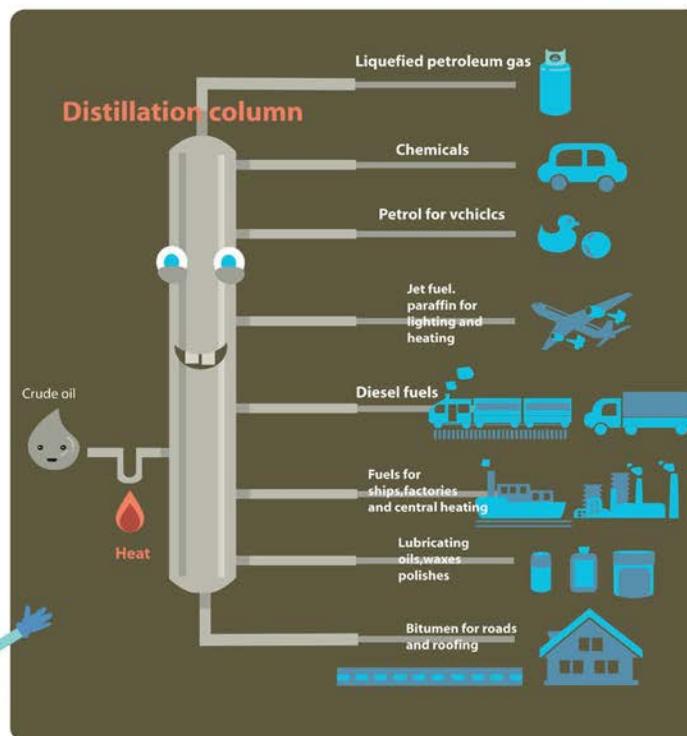
Der Kerosinverbrauch eines Flugzeugs wird nicht nur von dessen Größe und den verbauten Strahltriebwerken beeinflusst, sondern auch von seiner Auslastung, also der Anzahl der Passagiere und dem Gewicht der Fracht, sowie der Wetersituation. Rückenwind kann erheblich Treibstoff sparen helfen.

Der Verbrauch eines Flugzeugs wird in Litern je Passagier pro 100 km angegeben. Unter optimalen Bedingungen bewegt sich der Verbrauch bei rund 2,5 Liter/Person/100 km. In der Praxis darf man bei Langstreckenflügen jedoch von rund 4 Litern und bei Mittelstrecken von 5 bis 6 Litern ausgehen. Pro Flugstunde verbraucht ein Airbus der A320-Familie rund 2.500 bis 2.900 Kilogramm Kerosin. Das ergibt bei rund 200 Sitzplätzen und voller Auslastung zwischen 12,5 und 14,5 Kilogramm pro Passagier und Stunde.

The proportion the refinery to produce gasoline



Crude oil refining



Die Grafik zeigt, welche Produkte in welchem Ausmaß bei der Destillation von Rohöl gewonnen werden. Der Anteil von Kerosin liegt bei nur elf Prozent

Einsatzgebiete

Kerosin ist ein leichtes Petroleum. Es wird primär als Kraftstoff für Strahltriebwerk-Flugzeuge und für Turbinen-Hubschrauber verwendet. Selbst in Dieselkraftstoffen ist Kerosin enthalten.

Vertragen Strahltriebwerke andere Kraftstoffe?

Theoretisch ja. Sie vertragen grundsätzlich auch Benzin oder Diesel. In der Praxis ist Kerosin aber unverzichtbar. Zum einen ist es billiger als die Kraftfahrzeug-Treibstoffe. Entscheidender ist aber, dass es durch Beimengungen verschiedener Stoffe, den so genannten Additiven, speziell für die Anforderungen im Flugbetrieb aufbereitet wird. So muss Kerosin etwa bei sehr niedrigen Temperaturen in großer Höhe flüssig bleiben und möglichst rückstandslos verbrennen. Zudem dürfen sich in den Flugzeugtanks weder Korrosion noch Mikroorganismen bilden.

Ist Kerosin als Kraftstoff beim Automotor

möglich?

Mit einem Dieselmotor betriebene Autos und Lastwagen würden theoretisch auch mit Kerosin fahren. Allerdings hat Kerosin deutlich schlechtere Schmiereigenschaften als Dieselkraftstoff mit seinen speziellen Additiven. Der Verschleiß im Dieselmotor und auch in der Einspritzanlage wäre also wesentlich größer.

Lassen Flugzeuge Kerosin ab?

Der Glaube, Flugzeuge würden während der Landung Kerosin ablassen, ist weit verbreitet. Doch warum? Durch Druckunterschiede zwischen der Tragflächenober- und -unterseite kommt es zu kleinen Luftwirbeln. Sie können bei feuchter Luft dazu führen, dass sich Wassertröpfchen bilden. Diese können als dünne, langgestreckte Wolke sichtbar werden, die sich aber schnell wieder auflöst. Viele meinen, dass die Wölkchen aus abgelassenem Kerosin bestehen würden.

Nur wenige Langstreckenflugzeuge sind technisch überhaupt in der Lage, Kerosin abzulassen. Davon wird aber nur in Notsitua-

tionen in großer Höhe Gebrauch gemacht. Der Hintergrund: Flugzeuge haben ein maximal zulässiges Start- und Landegewicht. Das Kerosin kann bis zur Hälfte des gesamten Flugzeuggewichts ausmachen. Damit könnte die Maschine bei einem Notfall direkt nach dem Start für eine Landung, etwa auf kurzen Landebahnen, zu schwer sein. Um das Flugzeug dennoch sicher landen zu können, darf in großer Höhe nur so viel Kerosin abgelassen werden, bis die Maschine ihr zulässiges Landegewicht erreicht hat. Dies ist zudem im Vorfeld mit der Flugsicherung zu besprechen. Das Leeren der Tanks kann bis zu 30 Minuten dauern. Dabei verdampft ohnehin ein großer Teil des Treibstoffs, so dass fast kein Kerosin mehr am Boden ankommt.

Steuerbelastung

Gewerbliche Luftfahrtunternehmen müssen für Kerosin weder die deutsche Mineralöl- noch die Ökosteuer bezahlen. Für im Privat- und im Werksflugverkehr eingesetzte gewerbliche Flugzeuge wird beim Kerosin die Mineralölsteuer jedoch fällig.



Auftanken eines Flugzeugs mit Kerosin

Was kostet eine Flugzeugtank-Füllung?

Große Verkehrsmaschinen wie der Airbus A380-800 haben ein Tank-Fassungsvermögen von rund 320.000 Litern Kerosin. Bei einem Literpreis von rund 40 Euro-Cent (Januar 2017) schlägt einmal Auftanken mit rund 128.000 Euro zu Buche.

Turbinenhersteller

Da es nur wenige Hersteller von Strahltriebwerken gibt, beherrschen sie zusammen den Weltmarkt. Die Produzenten sehen sich nur zum Teil als Konkurrenten und arbeiten bei Großprojekten unter dem Dach gemeinsam gegründeter Tochterfirmen immer wieder zusammen. Auch die Entwicklung neuer Turbinentypen kann auf die gleiche Weise erfolgen.

GE Aviation

Diese Sparte des US-amerikanischen Konzerns General Electric ist der größte Turbinenhersteller der Welt. GE Aviation hat seinen Sitz in Evendale im US-Bundesstaat Ohio. Strahltriebwerke werden von der Firma seit 1946 für zivile und militärische Flugzeuge hergestellt. Von GE Aviation stammt auch das größte Strahltriebwerk der Welt, das GE90-115B.



Blick auf den Fan eines GE90-Triebwerks

United Technologies (UTC)

Dieser US-amerikanische Hersteller hat seinen Sitz in Hartford, Connecticut. Die von ihm gebauten Flugzeugturbinen und Raketenantriebe werden unter dem Namen Pratt & Whitney vertrieben. Außerdem ist der Konzern unter anderem in der Raumfahrt tätig.



Ein Pratt & Whitney PW1100G-JM-Triebwerk an einem Airbus A320neo

Entwicklung und Kosten

Die Entwicklungskosten eines Triebwerks gehen in die Milliarden US-Dollar. Sie amortisieren sich in der Regel erst nach etwa 20 Jahren über Reparaturen und Ersatzteilverkäufe. Neuentwicklungen zeichnen sich vor allem durch den Einsatz moderner Werkstoffe und die Reduzierung von Bauteilen aus. Überdies stehen die Verringerung des Kraftstoffverbrauchs und der Lärmentwicklung im Fokus.

Bevor ein Triebwerk zum Einsatz kommt, wird es zuerst vom Hersteller und anschließend von staatlichen Behörden auf Herz und Nieren überprüft. Dabei wird etwa den Fragen nachgegangen, wie das Triebwerk unter Einwirkung von Wasser, Eis und Sand sowie bei Hagel- und Vogelschlag reagiert. Weiter fordern die Behörden Dauerbelastungstests von mehreren Tausend Stunden Laufzeit.

Rolls-Royce

Der britische Mischkonzern Rolls-Royce mit Sitz in Derby ist vor allem durch seine Luxus-Autos bekannt geworden, deren Rechte heute BMW hält. Er baut unter anderem seit vielen Jahrzehnten Triebwerke für die zivile und die militärische Luftfahrt. Rolls-Royce ist weltweit die Nummer 2 unter den Turbinenbauern. Seine Palette reicht von Strahltriebwerken für Business-Jets bis zu solchen für große Maschinen wie den Airbus A380. Zu den Kunden der Briten zählen Airbus, Boeing und Lockheed Martin.



Ein Airbus A350 mit einem Triebwerk des Typs Rolls-Royce Trent XWB. Es ist eines der weltweit effizientesten großen Triebwerke für kommerzielle Jets

Safran

Der französische Hersteller hat seinen Sitz in Paris. Er ist ein Kooperationspartner von General Electric und baut primär Triebwerke für kleinere Verkehrsflugzeuge von Airbus und Boeing. Nach Rolls-Royce ist Safran der zweitgrößte europäische Hersteller von Flugmotoren und Strahltriebwerken. Zudem ist die Firma unter anderem im Bereich der Raumfahrt tätig. 2015 hat Safran erstmals eine Hilfsturbine für einen Business-Jet in einem 3D-Drucker hergestellt.

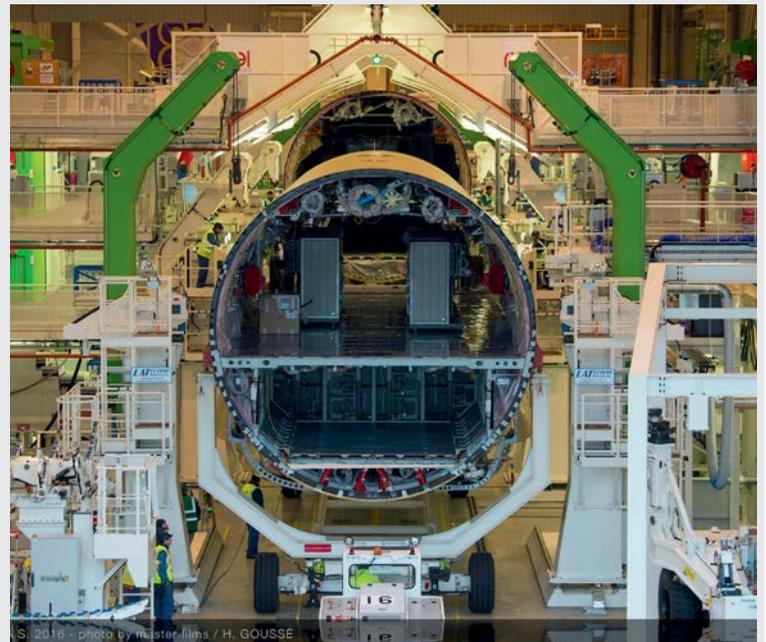


Endmontage eines Triebwerks des Typs LEAP von Safran

Nach rund 25.000 bis 50.000 Betriebsstunden werden Triebwerke zur Instandhaltung wieder ins Werk gebracht, wo sie nach Bedarf bis in ihre Einzelteile zerlegt und Komponenten getauscht werden. Wie hoch der Wartungsaufwand bei einem Triebwerk ist, hängt davon ab, auf welchen Flugrouten es zum Einsatz kam. So zieht etwa das salzhaltige Klima über den Ozeanen andere Beanspruchungen nach sich, als wenn viel über Wüsten geflogen wird.

Der Listenpreis eines CFM56-7BE-Triebwerks von Safran, so wie es bei der Boeing 737-900ER zum Einsatz kommt, beläuft sich auf etwa elf Millionen US-Dollar. Deutlich teurer ist das derzeit größte verfügbare Strahltriebwerk, das GE90-115B von GE Aviation. Es treibt die Boeing 777 an. Sein Stückpreis bewegt sich bei 24 Millionen US-Dollar.

Meist werden zusammen mit den Turbinen selbst auch Leistungspakete verkauft, die etwa die Wartungsarbeiten umfassen. Zudem sind Miet-/Leasing-Modelle üblich, bei denen nach Betriebsstunden abgerechnet wird. Auch darin sind bereits Wartungsarbeiten enthalten.



Airbus A350 XWB in der Fertigungshalle in Toulouse, Frankreich

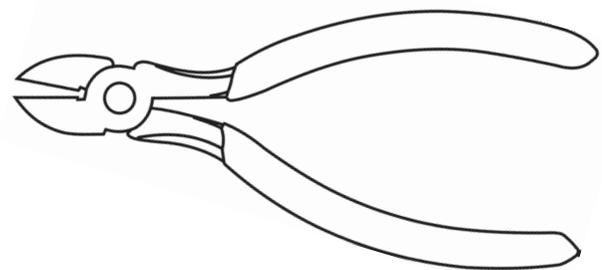
Bauanleitung

Teileliste

Menge	Teil	Teile-Nr.
1	Gehäuse, rechts	1
1	Gehäuse, links	2
1	Fangehäuse, vorn	3
1	Fangehäuse, hinten	4
1	Gehäuse, hinten	40
1	Fanschaufeln, vorn	5
1	Fanschaufeln, hinten	6
1	Fannabe	37
1	Niederdruckkompressorschaufel 1	7
1	Niederdruckkompressorschaufel 2	8
1	Niederdruckkompressorschaufel 3	9
1	Hochdruckkompressorschaufel 1	10
1	Hochdruckkompressorschaufel 2	11
1	Hochdruckkompressorschaufel 3	12
1	Hochdruckkompressorschaufel 4	13
1	Hochdruckkompressor-Turbinenschaufeln	14
1	Niederdruckturbinenschaufeln 1	15
1	Niederdruckturbinenschaufeln 2	16
1	Niederdruckturbinenschaufeln 3	17
1	Niederdruckturbinenschaufeln 4	18
3	Hochdruckkompressor-Antriebsräder	51
1	Metallwelle (181 mm)	
1	Metallwelle (25 mm)	
1	Brennkammer	
1	Sockel	
1	Hochdruckkompressor-Leitschaufeln 1	21
1	Hochdruckkompressor-Leitschaufeln 2	22
1	Hochdruckkompressor-Leitschaufeln 3	23
1	Hochdruckkompressorrohr	38
1	Hochdruckturbinenrohr	39
1	Niederdruckkompressor-Leitschaufeln 1	19
1	Niederdruckkompressor-Leitschaufeln 2	20
1	Niederdruckturbinen-Leitschaufeln 1	24
1	Niederdruckturbinen-Leitschaufeln 2	25
1	Niederdruckturbinen-Leitschaufeln 3	26
1	Riemenscheiben-Abdeckplatte	32
1	Hecknabe	53
1	Kleine Zahnscheibe	30
1	Große Zahnscheibe	31
1	Lagerbuchse A	35
1	Lagerbuchse B	36
1	Hecknabeneinsatz	56
1	Triebwerksstütze	55
20	Schrauben	
1	Schraubendreher	
1	Antriebsriemen	

Hinweise und Tipps

- Identifizieren Sie die einzelnen Teile, indem Sie sich die Teileliste und die zugehörigen Abbildungen ansehen.
- Beim Zusammenbau des Kompressors und der Turbinen sollten Sie als Erstes alle für den jeweiligen Schritt benötigten Teile aus dem Kunststoffrahmen (Spritzling) herausnehmen und in der benötigten Reihenfolge auf dem Tisch anordnen. Das hilft sicherzustellen, dass Sie die Teile in der richtigen Reihenfolge zusammenbauen.
- Ziehen Sie die Schrauben nicht zu fest an, da der Kunststoff sonst dauerhaft beschädigt werden könnte.
- Die Turbinenschaufeln sind sehr zerbrechlich. Behandeln Sie sie daher besonders achtsam.
- Versuchen Sie nicht, Batterien aufzuladen, die nicht wiederaufladbar sind.
- Verwenden Sie nur gleichartige Batterien. Mischen Sie auch nicht neue und gebrauchte Batterien.
- Achten Sie darauf, die Batterien mit der richtigen Polung einzusetzen.
- Nehmen Sie verbrauchte Batterien aus dem Gerät heraus.
- Schließen Sie die Anschlusskontakte niemals kurz.



Wichtig

Verwenden Sie ein scharfes Teppichmesser oder einen Seitenschneider (siehe untenstehende Abbildung), um die Teile aus dem Spritzling zu lösen. Entfernen Sie alle überschüssigen Plastikreste von den Teilen, damit die Turbine reibungslos läuft.

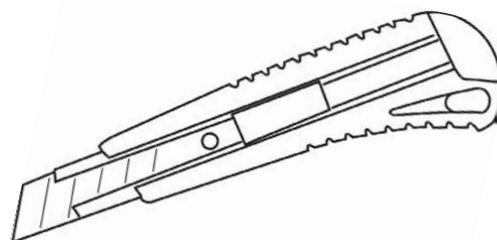
Assembly Manual

Parts list

Qty.	Part	Part No.
1	Housing right	1
1	Housing left	2
1	Fan housing front	3
1	Fan housing rear	4
1	Housing rear	40
1	Fan blade front	5
1	Fan blade rear	6
1	Fan spinner	37
1	Low pressure compressor vane #1	7
1	Low pressure compressor vane #2	8
1	Low pressure compressor vane #3	9
1	High pressure compressor vane #1	10
1	High pressure compressor vane #2	11
1	High pressure compressor vane #3	12
1	High pressure compressor vane #4	13
1	High pressure compressor turbine vane	14
1	Low pressure turbine vane #1	15
1	Low pressure turbine vane #2	16
1	Low pressure turbine vane #3	17
1	Low pressure turbine vane #4	18
3	High Pressure compressor drive gear	51
1	Metal shaft (181 mm)	
1	Metal shaft (25mm)	
1	Combustion chamber assembly	
1	Base assembly	
1	High pressure compressor guide vane #1	21
1	High pressure compressor guide vane #2	22
1	High pressure compressor guide vane #3	23
1	High pressure compressor tube	38
1	High Pressure turbine tube	39
1	Low pressure compressor guide vane #1	19
1	Low pressure compressor guide vane #2	20
1	Low pressure turbine guide vane #1	24
1	Low pressure turbine guide vane #2	25
1	Low pressure turbine guide vane #3	26
1	Pulley cover plate	32
1	Tail cone	53
1	Small geared pulley	30
1	Large geared pulley	31
1	Shaft bushing A	35
1	Shaft bushing B	36
1	Tail cone insert	56
1	Engine support	55
20	Screws	
1	Screwdriver	
1	Drive belt	

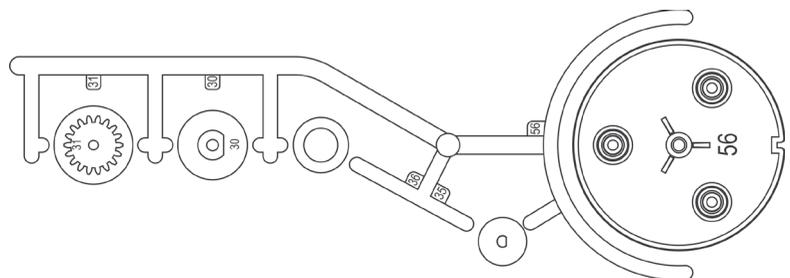
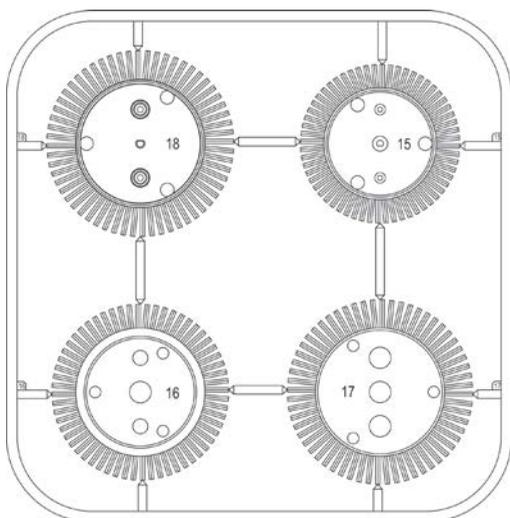
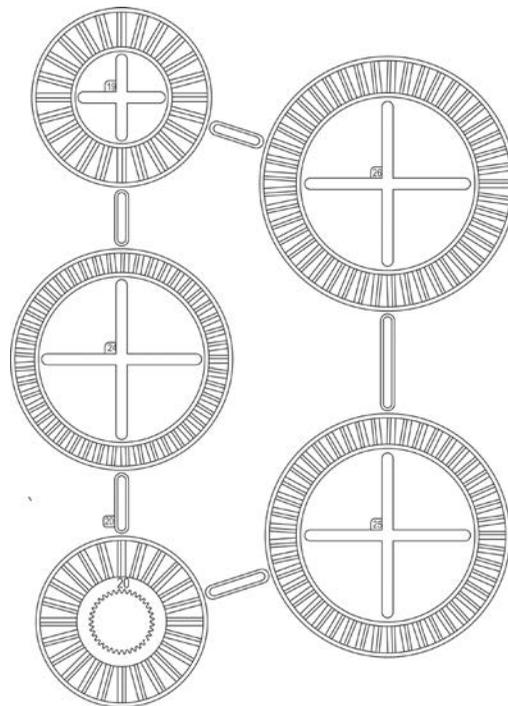
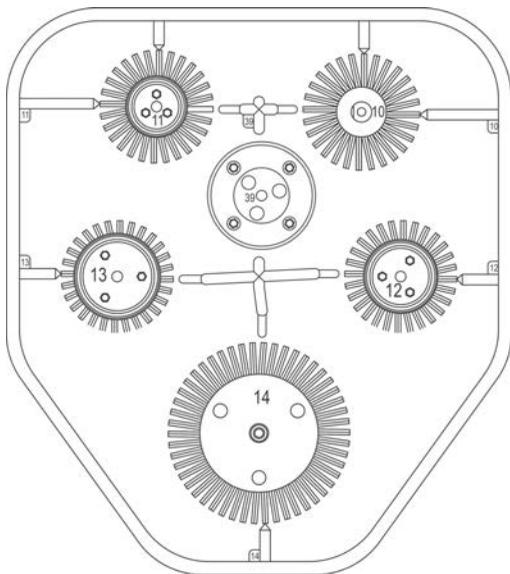
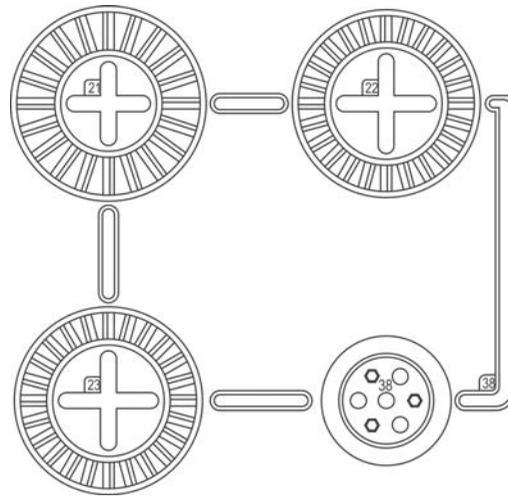
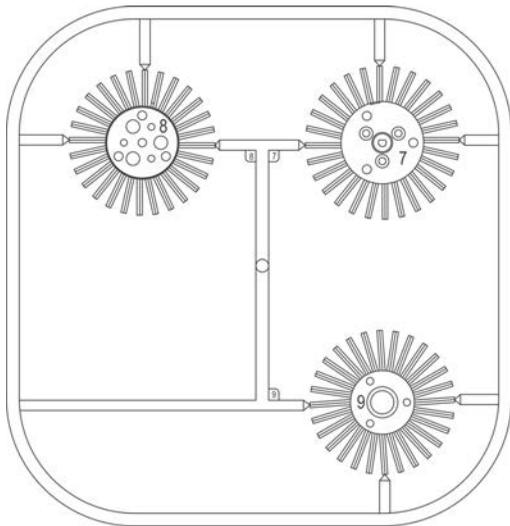
Notes and advice

- Identify the various parts by looking at the list of components and the corresponding illustrations.
- When assembling the compressor/turbines, we recommend that you first remove the parts needed for each step from the plastic frames (sprues), and lay them out on the table in the correct order. This will help to ensure that the parts are assembled in the correct order.
- The turbine blade assemblies are very fragile, so please take extra care when handling.
- Non-rechargeable batteries are not to be recharged.
- Rechargeable batteries are only to be charged under adult supervision.
- Rechargeable batteries are to be removed from the toy before being charged.
- Different types of batteries, or new and used batteries are not to be mixed.
- Batteries are to be inserted with the correct polarity.
- Exhausted batteries are to be removed from the toy.
- The supply terminals are not to be short-circuited.

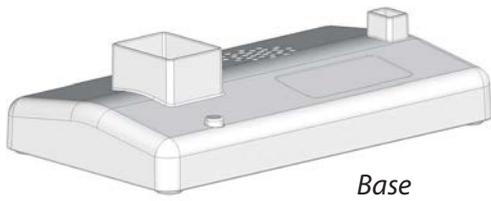


Important

- Take care not to over-tighten the screws as this may permanently damage the plastic.
- Use a sharp craft knife or some snips (see images below) to remove parts from the carrier frames. To ensure smooth running, always trim any excess plastic from the parts.



Sockel



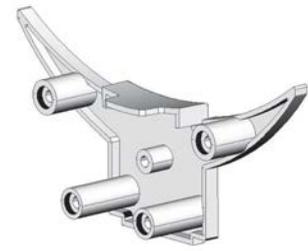
Base

Brennkammer



Combustion chamber

Riemenscheiben-Abdeckplatte



Pulley cover plate

Antriebsriemen



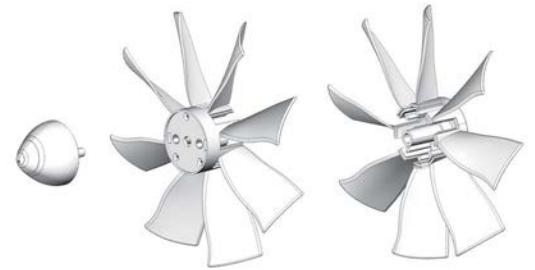
Drive belt

Gehäuse (links und rechts)



Housing (L and R)

Fannabe und -schaufeln



Fan spinner and blades

Hecknabe



Tail cone

Fangehäuse, hinten



Fan housing rear

Gehäuse, hinten



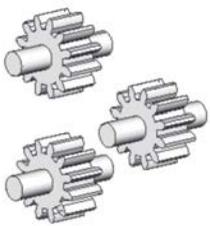
Housing rear

Fangehäuse, vorn



Fan housing front

Hochdruckkompressor-
Antriebsräder



High pressure
compressor
drive gear

181-mm-Metallwelle



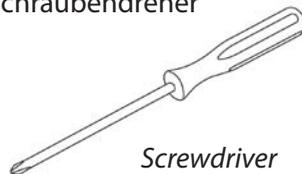
181 mm metal shaft

25-mm-Metallwelle



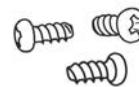
25 mm metal shaft

Schraubendreher



Screwdriver

Schrauben



Screws

Triebwerksstütze



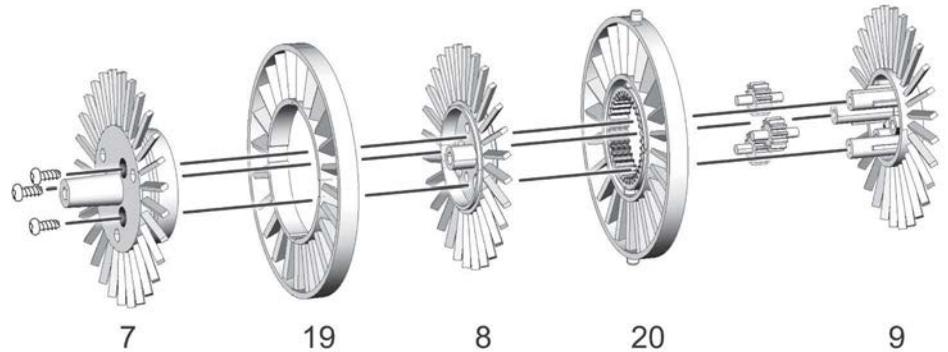
Engine support

Bauanleitung / Assembly Manual

Schritt 1

Niederdruckkompressor

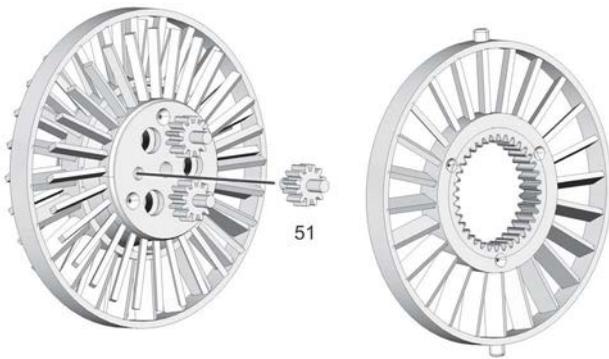
Bauen Sie die Niederdruckkompressorstufe aus den gezeigten Teilen zusammen. Die Leitschaufel (19) sitzt nur locker auf der Rückseite der Kompressorschaukeln 1 (7) auf. Das ist so beabsichtigt. Sichern Sie das Teil mit drei Schrauben. Wir empfehlen, als Erstes die Antriebsräder (51) an der Rückseite der Niederdruckkompressorschaukeln 2 (8) anzubringen und dann die Leitschaufeln 2 (20) daran anzubauen (siehe Detailbild).



Step 1

Low pressure compressor

Assemble the low pressure compressor stage using the parts shown. The guide vane (19) is a loose fit over the rear of part of the low pressure compressor vane #1 (7) – this is intentional. Secure with three screws. We recommend that you fit the drive gears (51) to the rear of part of the low pressure compressor vane #2 (8) first, then fit the low pressure compressor guide vane #2 (20) over these (refer to inset picture).



Schritt 2

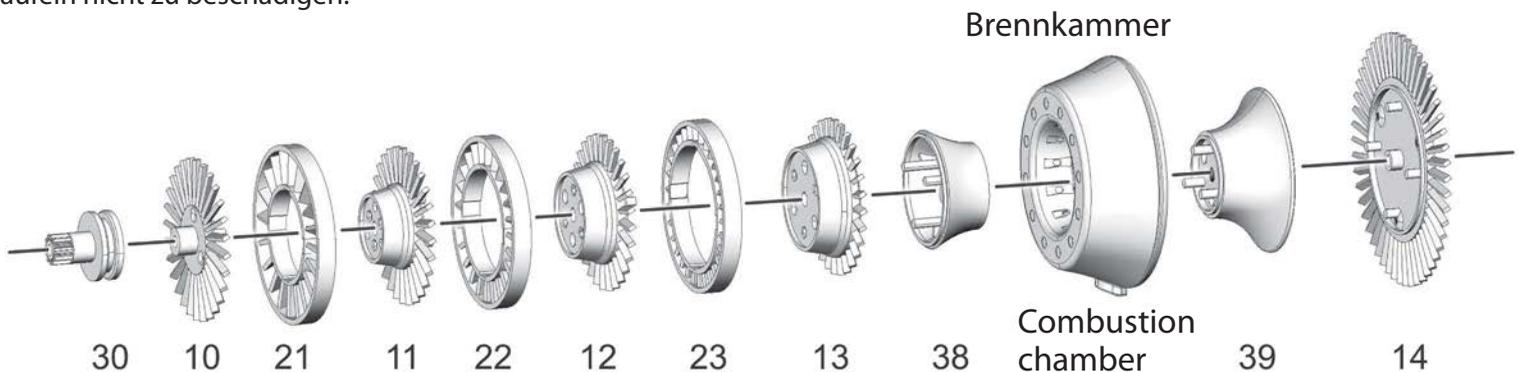
Hochdruckkompressor und -turbine

Bauen Sie Hochdruckkompressor und -turbine zusammen. Das Hochdruckkompressorrohr (38) und das Hochdruckturbinenrohr (39) werden durch die Mitte der Brennkammer geführt. Die Leitschaufeln (21), (22) und (23) setzen ebenso wie in Schritt 1 nur locker auf. Drücken Sie die Teile fest zusammen, sodass sie richtig aneinander halten, aber achten Sie dabei darauf, die Schaufeln nicht zu beschädigen.

Step 2

High pressure compressor and turbine

Assemble the high pressure compressor and turbine. Note how the high pressure compressor tube (38) and the high pressure turbine tube (39) are fitted through the middle of the combustion chamber. As in Step 1, the guide vanes (21, 22, 23) are a loose fit. Press firmly to ensure all parts are assembled correctly, but take great care to prevent damage to the fan blades.



Schritt 3

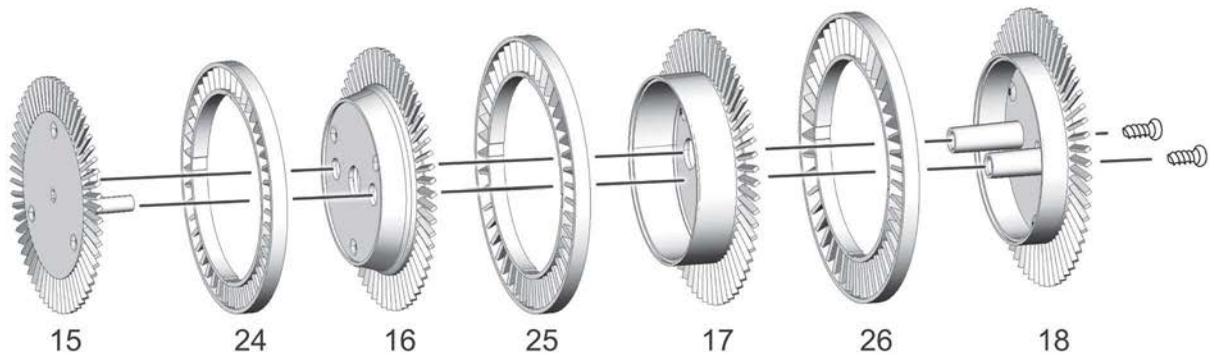
Niederdruckturbine

Bauen Sie die Niederdruckturbine zusammen und halten Sie die Baugruppe mit zwei Schrauben zusammen.

Step 3

Low pressure turbine

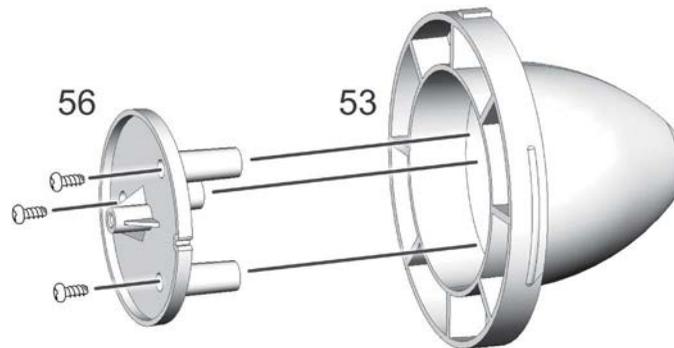
Assemble the low pressure turbine. Secure with two screws.



Schritt 4

Hecknabe

Passen Sie den Hecknabeneinsatz (56) in die Hecknabe (53) ein und sichern Sie ihn mit drei Schrauben.



Step 4

Tail cone

Fit the inner part of the tail cone (56) to the tail cone (53) and secure with three screws.

Schritt 5

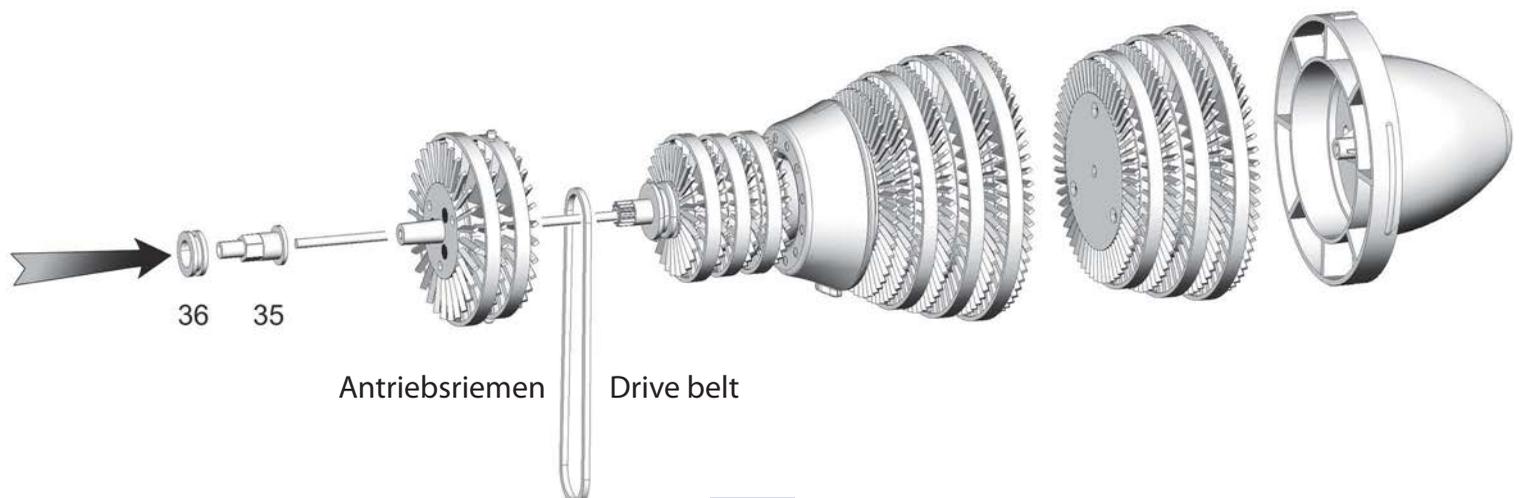
Zusammenbau des Triebwerksinneren

Schieben Sie die lange Metallwelle durch die Baugruppen aus den Schritten 1 bis 4. Legen Sie dabei den Antriebsriemen um die kleine Zahnscheibe (30). Stecken Sie schließlich die Lagerbuchsen A (35) und B (36) auf das Ende der Welle.

Step 5

Engine core assembly

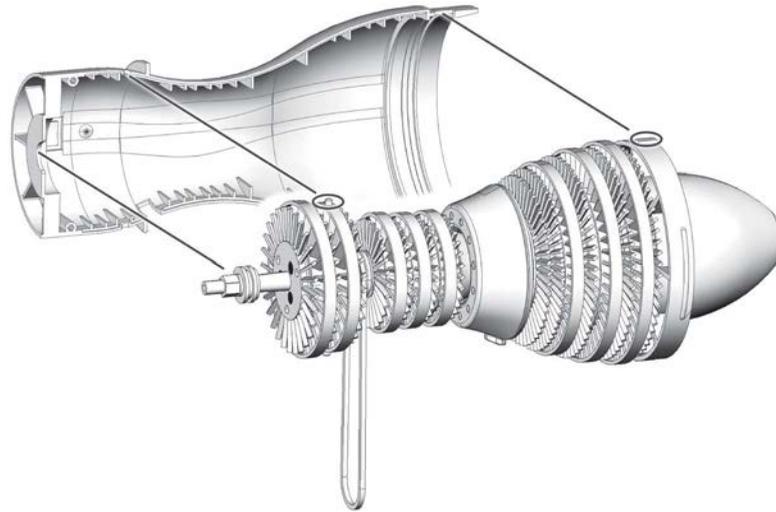
Slide the long metal shaft through the assemblies from Steps 1–4. The drive belt should be fitted to the small geared pulley (30) at this time. Finally, fit the shaft bushing A (35) and the shaft bushing B (36) to the end of the shaft.



Schritt 6

Triebwerksgehäuse (rechts)

Passen Sie die Baugruppe des Triebwerksinneren in das rechte Gehäuse (1) ein. Fädeln Sie dabei die Laschen im Leitschaufelring (20) und in der Hecknabe (53) sauber in die entsprechenden Schlitzte im Gehäuse ein und passen Sie die Leitschaufeln in die Führungen am Gehäuse ein (siehe Detailbild). Führen Sie das Kabel von der Brennkammer durch die Öffnung im Boden des Gehäuses nach außen.



Step 6

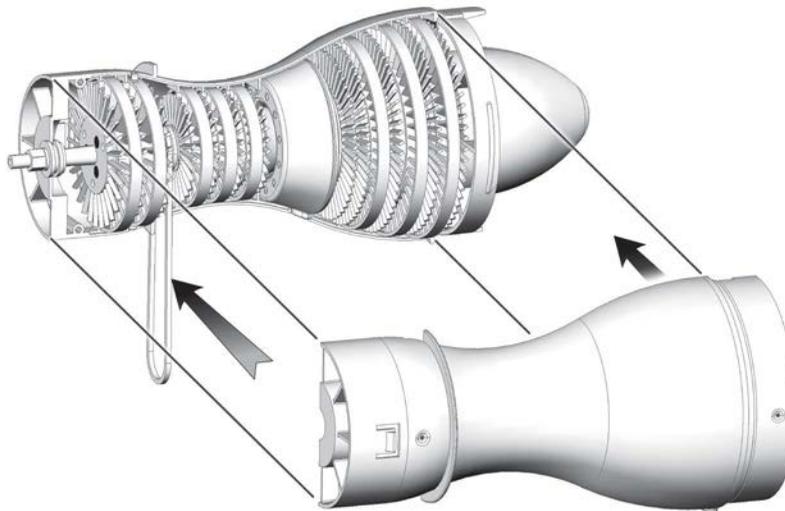
Engine housing (right)

Fit the turbine assembly to the right housing (1). There are lugs in the guide vane ring (20) and the tail cone (53) – make sure these locate correctly in the corresponding slots in the housing. Also make sure that the guide vanes fit within the slots moulded into the housing – refer to the inset picture. Note that the wire from the combustion chamber exits through the slot in the bottom of the housing.

Schritt 7

Triebwerksgehäuse (links)

Bringen Sie das linke Gehäuse (2) an. Drücken Sie die beiden Hälften des Gehäuses zusammen. Ziehen Sie am Antriebsriemen, um sich zu vergewissern, dass sich alle Kompressor- und Turbinenschaufeln reibungslos drehen.



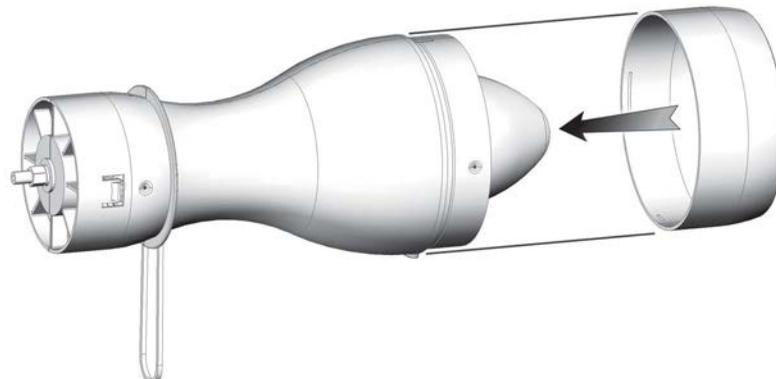
Step 7

Engine housing (left)

Fit the left housing (2). Hold the two halves of the engine housing together. Pull the drive belt to check that all of the compressor and turbine blades rotate smoothly.

Schritt 7 (Frts.)

Bringen Sie den hinteren Teil des Gehäuses wie gezeigt an. Die Verbindung ist formschlüssig, daher müssen Sie fest drücken, damit das Teil richtig an Ort und Stelle sitzt.



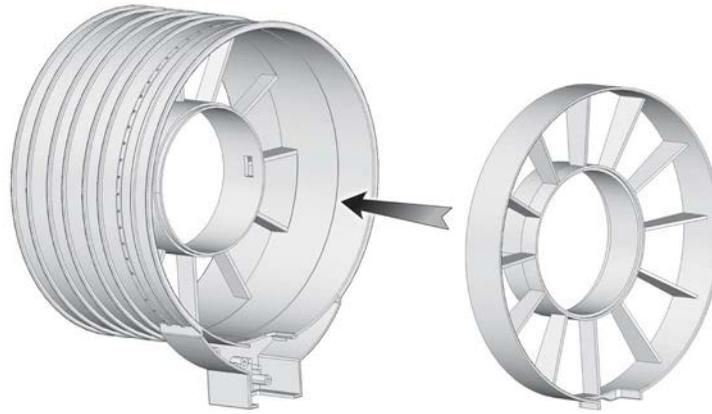
Step 7 (continued)

Fit the rear part of the engine body as shown. This is a tight fit, so press firmly to ensure it is in place.

Schritt 8

Fangehäuse

Bauen Sie den hinteren Teil des Fangehäuses in den Hauptteil ein. Er hält durch Reibung.



Step 8

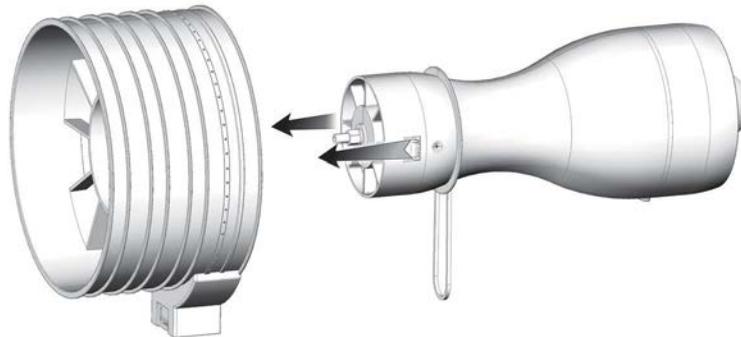
Fan housing

Fit the rear part of the fan housing. This is a friction fit in the main fan housing.

Schritt 9:

Zusammenbau von Fangehäuse und Triebwerkskern

Schieben Sie das zusammengebaute Triebwerk in das Fangehäuse. Die Klammern an beiden Seiten müssen in den entsprechenden Schlitzen im Gehäuse einrasten.



Step 9

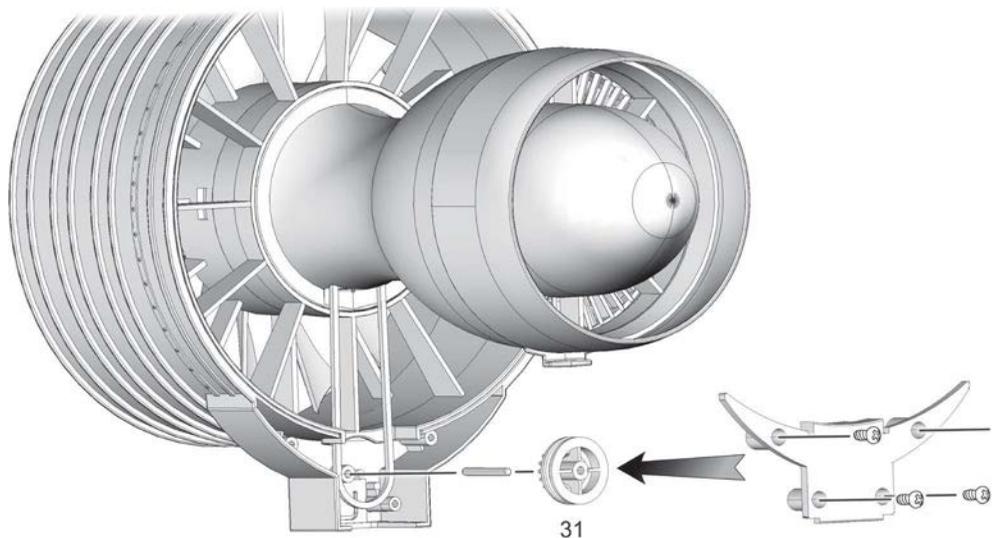
Fan housing/engine core assembly

Slide the assembled engine core in to the fan housing, making sure the clips on either side engage correctly with the corresponding slots in the housing.

Schritt 10

Antriebsscheibe

Schieben Sie die große Zahnscheibe (31) über die kurze Metallwelle (25 mm) und montieren Sie beides am Fangehäuse. Bringen Sie die Riemenscheiben-Abdeckplatte (32) an und sichern Sie sie mit vier Schrauben.



Step 10

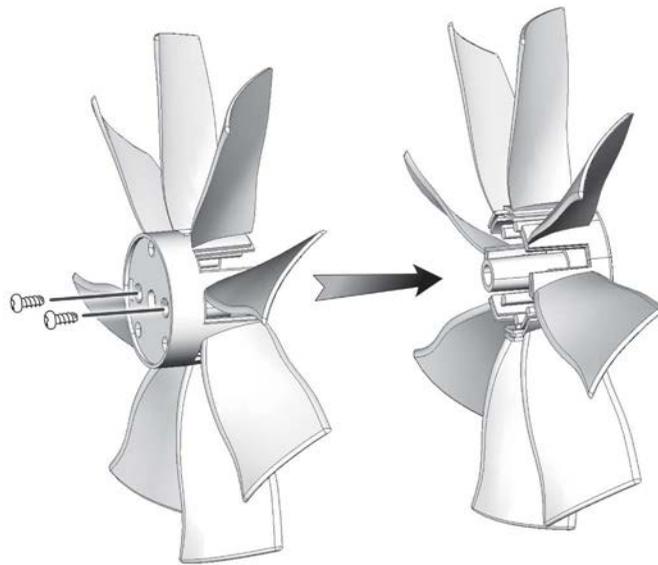
Drive pulley

Slide the large geared pulley (31) over the short metal shaft (25 mm), and fit to the base of the fan housing. Attach the pulley cover plate (32) and secure with four screws.

Schritt 11

Fanschaufeln

Bauen Sie die beiden Hälften der Fanschaufeln zusammen. Diese beiden Teile passen nur in einer Richtung zueinander. Ändern Sie ggf. die Anordnung und versuchen Sie es erneut. Befestigen Sie die beiden Teile mit zwei Schrauben aneinander.



Step 11

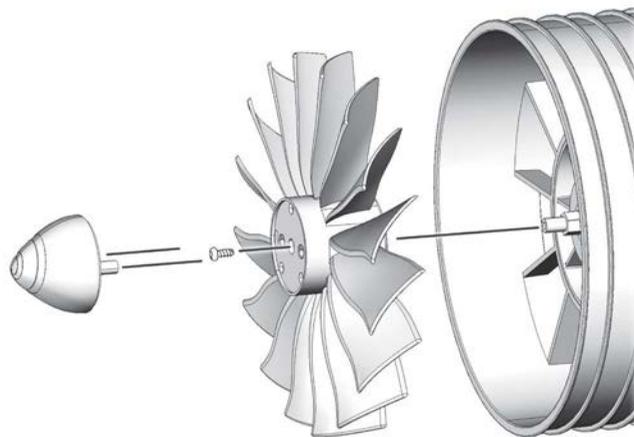
Fan blade assembly

Fit the two halves of the fan blade together, noting that these parts will only fit together one way. If necessary, reposition the parts and try again. Secure with two screws.

Schritt 12

Fan montieren

Befestigen Sie die Fanbaugruppe am Ende der Lagerbuchse A (35) und sichern Sie sie mit einer Schraube. Drücken Sie die Nabe auf die Fanbaugruppe auf.



Step 12

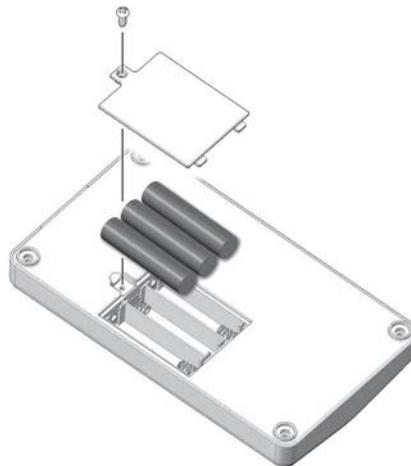
Fitting fan assembly

Attach the fan assembly to the end of the shaft bushing A (35) and secure with a single screw. Fit the spinner to the fan assembly – this is a press fit.

Schritt 13

Batterien einlegen

Nehmen Sie die Abdeckung des Batteriefachs ab und setzen Sie drei AA-Batterien wie gezeigt ein. Achten Sie darauf, dass die Polung (Markierungen +/-) der Batterien mit den Markierungen am Batteriefach übereinstimmt. Bringen Sie die Abdeckung wieder an.



Step 13

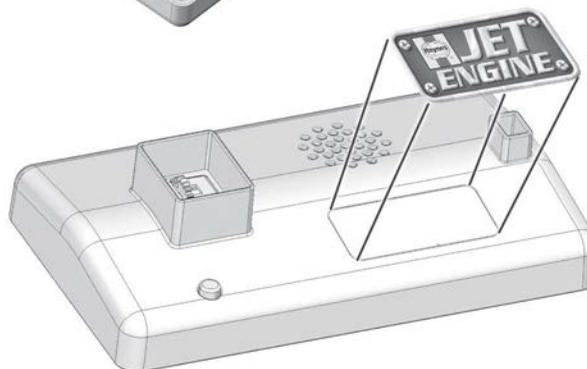
Battery installation

Remove the battery cover and fit 3 x AA batteries, as shown, making sure the polarity (+ and - markings) on the batteries match the markings in the battery compartment. Replace the cover.

Schritt 14

Sockelbeschriftung anbringen

Ziehen Sie den Aufkleber vom Trägerpapier ab und bringen Sie ihn wie gezeigt auf dem Sockel an.



Step 14

Adding label to base

Remove the label from the paper backing and apply to the base as shown.

Schritt 15:

Das Triebwerk auf dem Sockel montieren

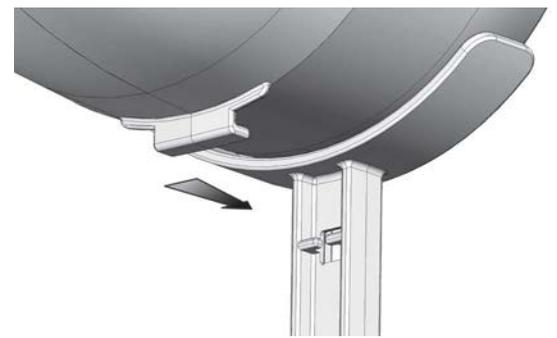
Führen Sie die transparente Plastikstütze in den Sockel ein. Die Klammern an der einen Seite der Stütze müssen zur Vorderseite des Triebwerks zeigen. Legen Sie das Triebwerk auf den Sockel und die Stütze. Hinten am Triebwerk an der Unterseite befindet sich eine Lippe, die über das Oberteil der Stütze passt. Schieben Sie als Erstes diese Lippe über die Stütze und stecken Sie dann den vorderen Teil des Triebwerks in den Sockel. Drücken Sie das Triebwerk fest nach unten, bis das Antriebssystem hörbar einrastet.



Step 15

Fitting engine to base

Insert the clear plastic support to the base. There are clips on one side of the support – these should face the front of the engine. Fit the engine assembly to the base/support. There is a lip on the underside of the rear of the engine which fits over the rear support. Attach this first, then carefully insert the front section into the base. Push down firmly so the drive system engages correctly - you should hear it click into place.



Schritt 16:

Anschluss und Betrieb

Schließen Sie das von der Brennkammer kommende Kabel an der Buchse im Sockel an. Drücken Sie das Kabel in die Halterungen an der hinteren Stütze (siehe Detailbild). Drücken Sie die Taste auf dem Sockel, um das Triebwerk einzuschalten. Es wird ungefähr 30 s lang laufen und dann automatisch wieder anhalten.



Step 16

Plug in/operation

Plug the wire from the combustion chamber into the socket in the base. Push the wire behind the clips in the support (refer to inset). Press the button on the base to operate the engine – it will run for approximately 30 seconds and stop automatically.

Flugzeughersteller

Die beiden großen Flugzeughersteller Airbus und Boeing beherrschen den Weltmarkt. Neben ihnen gibt es verschiedene kleinere Firmen, die meist Kleinflugzeuge herstellen.

Boeing

Der weltgrößte Flugzeug-Fabrikant entwickelt und stellt etwa je zur Hälfte militärische und zivile Maschinen her. Außerdem stammen von Boeing Hubschrauber sowie Weltraumtechnik.

Das Unternehmen wurde bereits 1916 gegründet. Es hat seinen Sitz in Chicago im US-Bundesstaat Illinois.



Zwei Boeing 777 und zwei 787 über den Wolken



Der B-52-Bomber wurde von Boeing von 1952 bis 1962 gebaut

Airbus

Airbus ist der größte europäische Flugzeugbauer. In der Weltrangliste steht er hinter Boeing auf Platz 2. Der paneuropäische Hersteller produziert in erster Linie zivile Verkehrsflugzeuge. Zu den militärischen Ausnahmen zählt der Militärtransporter A400M. Airbus hat mehrere Niederlassungen in Europa, die auf Sondergebiete des Flugzeugbaus spezialisiert sind. Die Hauptkomponenten werden in Deutschland, Frankreich, Spanien und Großbritannien gefertigt. Die Endmontage erfolgt in Frankreich, Deutschland, China und den USA.



Die aktuelle Airbus-Produktfamilie in der Luft. Von oben nach unten: Airbus A320neo, A330, A350 XWB und A380

Air Force One

Die Air Force One ist das Flugzeug des Präsidenten der USA. Sie gibt es gleich zweimal. Bei den Air-Force-One-Maschinen handelt es sich um zwei umgebaute Boeings 747-200B, die auch die militärische Bezeichnung VC-25A tragen. Sie sind komplette militärische Operationsbasen mit umfangreichen Kommunikationsmöglichkeiten zu allen US-Truppenteilen. In den beiden VC-25A ist jeweils sogar ein Operationstisch für medizinische Notfälle eingebaut.

Ein deutsches Gegenstück zur Air Force One gibt es nicht. Stattdessen steht hochrangigen Regierungsmitgliedern eine Reihe von Flugzeugen zu Verfügung, die im Rahmen der „Weißen Flotte“ der Flugbereitschaft der deutschen Luftwaffe einsatzbereit gehalten werden. Dazu gehören Flugzeuge der Typen Airbus A340-313X und A319CJ sowie Bombardier Global 5000 und Cougar AS-532.



Am 15. November 2016 besuchte der US-Präsident Barack Obama mit dieser Air Force One die griechische Hauptstadt Athen

Lebensdauer eines Flugzeugs

Flugzeuge werden für eine Lebensdauer von durchschnittlich etwa 60.000 Flugstunden und rund 48.000 Starts und Landungen konzipiert. Während ein Auto nur alle zwei Jahre zum TÜV muss, gehören umfassende Kontrollen bei der Fliegerei zum Tagesgeschäft. Die Hersteller garantieren für ihre Flugzeuge nur, wenn die regelmäßig vorgeschriebenen Wartungen durchgeführt werden. Kurz-Checks am Rumpf und den Triebwerken finden vor jedem Start statt. Kleine Defekte werden sofort repariert. Bei größeren Problemen darf die Maschine nicht starten.

Darüber hinaus sind bei Flugzeugen turnusmäßige Wartungen, so genannte „Letter-Checks“, üblich. So muss etwa ein Airbus A320 alle rund 600 Flugstunden zum A-Check. Nach 6.000 Flugstunden, also nach etwa zwei Jahren, erfolgt mit dem C-Check die erste große Wartung. Dabei werden Teile des Flugzeugs zerlegt. Beim noch größeren D-Check werden sogar die Triebwerke weitgehend demontiert. Zudem wird der Lack abgetragen, um den Rumpf auf Risse untersuchen zu können. Alle diese Maßnahmen, bei denen die Flugzeuge überdies laufend modernisiert werden, tragen dazu bei, dass Passagierflugzeuge durchaus 25 bis 30 Jahre lang als absolut sicher gelten können. Militärmaschinen werden übrigens nur für eine durchschnittliche Einsatzzeit von 15 Jahren beziehungsweise 5.000 bis 8.000 Flugstunden ausgelegt.



Flugzeug bei Wartungsarbeiten bei Lufthansa in Sofia, Bulgarien, im Mai 2014

Lockheed Martin

Lockheed Martin ist der zweitgrößte amerikanische Flugzeug-Hersteller. Er ist in Bethesda im US-Bundesstaat Maryland beheimatet. Der Rüstungs- und Technologiekonzern baut vor allem Flugzeuge für den militärischen Einsatz. Des Weiteren zeichnet Lockheed Martin für die Fertigung von Raketen verantwortlich. Zudem ist der Konzern im Bereich Raumfahrt tätig. So stammen Teile der Internationalen Raumstation ISS und des Hubble Weltraum-Teleskops von Lockheed Martin. Seit 2015 gehört auch der Bau von Sikorsky-Hubschraubern zu dem US-Konzern.



F-35B-Kampfflugzeuge von Lockheed Martin auf dem Flugzeugträger USS America

Individuelle Einzelstücke

Bei den Flugzeugherstellern haben die Wünsche ihrer Kunden höchste Priorität. Das trifft in der zivilen Sparte ebenso zu wie in der militärischen. Die Kunden bestimmen im hohen Maße über die Ausstattung und die Funktionalität eines Modells. Die Palette etwa bei Passagierflugzeugen reicht von der technischen Ausstattung über die Innenraumgestaltung und die Anzahl der Sitzplätze bis zur Wahl der verwendeten Strahltriebwerke. Damit sind die meisten Flugzeuge individuelle Einzelstücke.

Berühmte Düsenflugzeuge



Heinkel He 178

Bauzeit:	1939
Stückzahl:	1
Höchstgeschwindigkeit:	700 km/h
Schubkraft:	4,9 kN (Startleistung)
Max Einsatzflughöhe:	8.850 m
Länge:	7,48 m
Spannweite:	7,20 m
Treibstoffkapazität:	360 l
Reichweite:	200 km
Maximales Startgewicht:	2.000 kg
Besatzung:	1

Das Versuchsflugzeug Heinkel He 178 war weltweit das erste, das von einem Strahltriebwerk angetrieben wurde. Der erste Testflug am 27. August 1939 dauerte rund acht Minuten. Er wurde von Testpilot Erich Warsitz am Heinkel-Werksflugplatz Rostock-Marienehe durchgeführt. Wegen der geringen Flugzeit von nur rund acht Minuten bestand kein Interesse an einer Serienproduktion.



Messerschmitt Me 163A

Bauzeit:	1941 bis 1944
Stückzahl:	ca. 360 (alle Me 163)
Höchstgeschwindigkeit:	ca. 960 km/h (Mach 0,85)
Schubkraft:	7,35 kN
Maximale Einsatzflughöhe:	10.000 m
Länge:	5,6 m
Spannweite:	8,9 m
Reichweite:	ca. 40 km
Maximales Startgewicht:	2.400 kg
Besatzung Cockpit:	1

Die Me 163 besaß einen Raketenantrieb. Er verbrauchte rund 20 Mal mehr Treibstoff als eine vergleichbare Turbine. Die Flugdauer der ersten Me 163 lag bei nur 7,5 Minuten, die der letzten Versionen bei rund 15 Minuten. Eine Me 163A V4 überschritt 1941 erstmals die 1.000-km/h-Grenze. Der seinerzeit als Wunderwaffe titulierte Jäger hatte nur wenige Kampfeinsätze.



Messerschmitt Me 262

Bauzeit:	1944 bis 1945
Stückzahl:	1.433
Höchstgeschwindigkeit:	870 km/h (Mach 0,81)
Schubkraft:	2 x 8,8 kN
Maximale Einsatzflughöhe:	11.450 m
Länge:	10,60 m
Spannweite:	12,65 m
Treibstoffkapazität:	ca. 2.600 l
Reichweite:	1.050 km
Maximales Startgewicht:	6.400 kg
Besatzung:	1

Die Messerschmitt Me 262 war 1944/1945 das erste weltweit in Serie gebaute Strahlflugzeug. Der Erstflug erfolgte am 18. Juli 1942. Die Me 262 zählte zu den sogenannten Wunderwaffen des Dritten Reichs und war eines der technisch fortschrittlichsten Flugzeuge seiner Zeit. Nach dem Krieg beeinflusste die zweistrahlige Me 262 die Entwicklung von Düsenflugzeugen in den USA und der UdSSR maßgeblich.



Bell X-1

Bauzeit:	1945 bis 1955
Stückzahl:	6
Höchstgeschwindigkeit:	1.360 km/h (Mach 1,26)
Schubkraft:	26,7 kN
Maximale Einsatzflughöhe:	19.000 m
Länge:	9,45 m
Spannweite:	8,52 m
Treibstoffkapazität:	k.A. (Raketenantrieb)
Maximales Startgewicht:	6.078 kg
Besatzung:	1

Am 14. Oktober 1947 gelang dem legendären Testpiloten Captain Charles „Chuck“ Yeager mit dem Experimental- und Raketenflugzeug Bell X-1 der erste bemannte horizontale Überschallflug. Die Maschine wurde von einem Mutterflugzeug ausgeklinkt und erreichte in rund 13.000 Metern Höhe Mach 1,06 (ca. 1.100 km/h). Die Version Bell X-1A erreichte 1953 sogar Mach 2,435 (2630 km/h).



DeHavilland DH-106 Comet 1

Bauzeit:	1951 bis 1964
Stückzahl:	9
Reisegeschwindigkeit:	725 km/h (Mach 0,67)
Schubkraft:	4 x 22,2 kN
Maximale Einsatzflughöhe:	12.800 m
Länge:	28,4 m
Spannweite:	35,1 m
Treibstoffkapazität:	31.408 l
Reichweite:	2.415 km
Maximales Startgewicht:	47.620 kg
Besatzung (Cockpit):	4
Passagiere:	32 bis 58

Die britische DH-106 Comet war das erste in Serie gebaute Passagierflugzeug mit Strahltriebwerken. Sie wurde in mehreren Varianten bis 1964 insgesamt 114 Mal produziert. Am 2. Mai 1952 nahm die British Overseas Airways Corporation (BOAC) den Liniendienst mit der Comet 1 auf. Nach einer Reihe von Unfällen 1953/1954 musste das vierstrahlige Flugzeug konstruktiv nachgebessert werden.



Boeing B-52

Bauzeit:	1952 bis 1962
Stückzahl:	744
Höchstgeschwindigkeit:	1.027 km/h (Mach 0,95)
Schubkraft:	8 x 53,8 kN
Maximale Einsatzflughöhe:	13.680 m
Länge:	47,7 m
Spannweite:	56,4 m
Treibstoffkapazität:	ca. 180.000 l
Reichweite:	bis 20.000 km (mit Zusatztanks)
Maximales Startgewicht:	204.120 kg
Besatzung Cockpit:	6

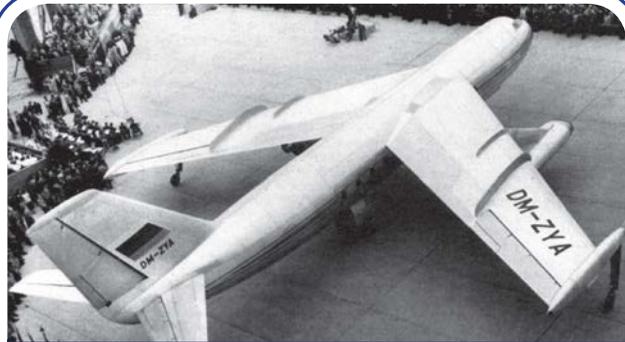
Der schwere Langstreckenbomber Boeing B-52 wird von acht Strahltriebwerken angetrieben. Sie sind in vier Paaren unter den Tragflächen montiert. Der B-52 entwickelte sich zu einem besonders vielseitigen und langlebigen Flugzeug. Kosten 1956: rund 14,5 Millionen Dollar. Heute ist er das älteste noch im Dienst befindliche Kampfflugzeug mit Strahltriebwerken.



Boeing 707

Bauzeit:	1957 bis 1991
Stückzahl:	1010
Höchstgeschwindigkeit:	896 km/h (Mach 0,83)
Schubkraft:	4 x 55,2 kN
Maximale Einsatzflughöhe:	ca. 8.500 m
Länge:	44,2 m
Spannweite:	39,9 m
Treibstoffkapazität:	51.020 l
Reichweite:	8.000 km
Maximales Startgewicht:	117.000 kg
Besatzung (Cockpit):	3 bis 4
Passagiere:	110 bis 179

Die amerikanische Boeing 707 war neben der britischen DeHavilland Comet das erste Langstrecken-Passagierflugzeug mit Strahltriebwerken. Die vierstrahlige Maschine revolutionierte die zivile Luftfahrt und wurde zu Preisen ab vier Millionen Dollar über 1000 Mal gebaut. Der Erstflug erfolgte 1957, der erste Transatlantikflug ein Jahr später. 1978 wurde die letzte 707 als Passagierflugzeug ausgeliefert.



Baade 152

Bauzeit:	1958
Stückzahl:	3
Höchstgeschwindigkeit:	915 km/h (Mach 0,85)
Schubkraft:	4 x 30,9 kN
Maximale Einsatzflughöhe:	12.300 m
Länge:	31,4 m
Spannweite:	26,3 m
Treibstoffkapazität:	15.563 l
Reichweite:	2.420 km (mit 40 Passagieren)
Maximales Startgewicht:	43.600 kg
Besatzung Cockpit:	4
Passagiere:	40 bis 60

Die Baade 152 war das erste nach dem Zweiten Weltkrieg in Deutschland entwickelte Düsen-Passagierflugzeug. Von dieser nach ihrem Konstrukteur Brunolf Baade benannten Maschine wurden vom VEB Flugzeugwerke Dresden nur drei Prototypen gebaut. Da die von der Staatsführung der DDR erhofften Bestellungen für die B-152 (auch 152 Dresden) ausblieben, ging sie nie in Serie.



Douglas DC-8-63

Bauzeit:	1958 bis 1972
Stückzahl:	556
Höchstgeschwindigkeit:	965 km/h (Mach 0,89)
Schubkraft:	4 x 85 kN
Maximale Einsatzflughöhe:	12.800 m
Länge:	57,0 m
Spannweite:	45,2 m
Treibstoffkapazität:	ca. 67.500 l
Reichweite:	7600 km
Maximales Startgewicht:	158.760 kg
Besatzung (Cockpit):	3
Passagiere:	259

Die Douglas DC-8 war eine überaus robuste vierstrahlige Verkehrsmaschine. Sie wurde in diversen Varianten gebaut und von 48 Fluggesellschaften in 28 Ländern angeschafft. Am 21. August 1961 durchbrach eine DC-8-43 im Rahmen eines Testflugs als erste Passagiermaschine der Welt die Schallmauer. Während des Sinkflugs erreichte sie Mach 1,0124 (1093 km/h).



Concorde

Bauzeit:	1962 bis 1979
Stückzahl:	20
Höchstgeschwindigkeit ¹ :	2.408 km/h (Mach 2,23, auf 18.000 m)
Schubkraft:	4 x 169,2 kN (mit Nachbrennern)
Maximale Einsatzflughöhe:	18.300 m
Länge:	61,66 m
Spannweite:	25,60 m
Treibstoffkapazität:	119.500 l
Kraftstoffverbrauch:	25.680 Liter pro Stunde
Reichweite:	6.670 km (voll beladen)
Maximales Startgewicht:	186.880 kg
Passagiere:	92 bis 128

Ihr elegantes Aussehen und ihre Geschwindigkeit machten die Concorde zur Königin der Lüfte. Schneller als mit diesem legendären Überschall-Passagierflugzeug konnte man nicht reisen. Von Paris nach New York benötigte es nur drei bis 3,5 Stunden. Moderne Unterschallflugzeuge sind doppelt so lange unterwegs. Die Concorde flog von 1976 bis 2003 im Linienverkehr für Air France und British Airways.

¹ 1,0 Mach entspricht bei Standardatmosphäre in ca. 10.000 Metern Flughöhe 1.080 km/h



Tupolew Tu-154

Bauzeit:	1968 bis 2013
Stückzahl:	1.026
Höchstgeschwindigkeit:	950 km/h (Mach 0,88)
Schubkraft:	3 x 102,98 kN
Maximale Einsatzflughöhe:	11.900 m
Länge:	47,92 m
Spannweite:	37,56 m
Treibstoffkapazität:	15.563 l
Reichweite:	6.600 km
Maximales Startgewicht:	100.000 kg
Besatzung Cockpit:	3
Passagiere:	150 bis 180

Das dreistrahliges Verkehrsflugzeug für mittlere Reichweiten kam vor allem in der UdSSR für Inlandsflüge sowie in Osteuropa und dem arabischen Raum zum Einsatz. Die in drei Baureihen produzierte Tu-154 galt zwar generell als zuverlässig, sorgte im Laufe der Jahrzehnte aber dennoch immer wieder durch Abstürze für unrühmliche Schlagzeilen.



Mikojan-Gurewitsch MiG-25

Bauzeit:	1969 bis 1985
Stückzahl:	1186
Höchstgeschwindigkeit:	3.470 km/h (Mach 3,2 in 13.000 m)
Schubkraft:	2 x 100,1 kN
Maximale Einsatzflughöhe:	20.700 m
Länge:	19,7 m
Spannweite:	14,0 m
Treibstoffkapazität:	19.056 l
Reichweite:	1.730 km
Maximales Startgewicht:	36.720 kg
Besatzung (Cockpit):	1

Auf den sowjetischen Kampfflugzeug MiG-25 gehen 29 Weltrekorde. Er erreicht über dreifache Schallgeschwindigkeit und kann bis über 20.000 Meter hoch steigen. Eine zweisitzige MiG-25 PU schaffte es sogar auf die Weltrekordhöhe von 30.500 Metern. In Kampfeinsätzen blieb der zweistrahliges Abfangjäger und Aufklärer MiG-25 jedoch hinter den Erwartungen zurück.



Lockheed F-117 Nighthawk

Bauzeit:	1982 bis 1990
Stückzahl:	64
Höchstgeschwindigkeit:	994 km/h (Mach 0,92)
Schubkraft:	2 x 48,06 kN
Maximale Einsatzflughöhe:	15.560 m
Länge:	20,08 m
Spannweite:	13,20 m
Treibstoffkapazität:	10.644 l
Reichweite:	1.112 km
Maximales Startgewicht:	23.814 kg
Besatzung:	1

Die Lockheed F-117 war das weltweit erste Kampfflugzeug, bei dem die Tarnkappentechnik zum Einsatz kam. Die besondere Form der mehr als 120 Millionen Dollar teuren Nighthawk und die spezielle Beschichtung der Außenhaut verhindern, dass die Maschine Radarstrahlen reflektiert. Der zweistrahlige, einsitzige Stealth-Bomber ist eine so genannte Nurflügel-Maschine.



Suchoi Su-27

Bauzeit:	seit 1984
Stückzahl:	809
Höchstgeschwindigkeit:	2.538 km/h (Mach 2,35)
Schubkraft:	2 x 122,6 kN (mit Nachbrennern)
Maximale Einsatzflughöhe:	18.500 m
Länge:	21,9 m
Spannweite:	14,7 m
Treibstoffkapazität:	11.750 l
Reichweite:	3.530 km
Maximales Startgewicht:	30.450 kg
Besatzung (Cockpit):	1

Die russische Suchoi Su-27 wurde als Gegenstück zur amerikanischen F-15 Eagle entwickelt. Der zweistrahlige Jäger ist bis heute das wichtigste Jagdflugzeug Russlands. Der Erstflug fand 1977 statt. 1984 begann die Serienproduktion des rund 30 Millionen Dollar teuren Jägers mit dem Doppel-Leitwerk. Von der Su-27 gibt es mehrere Varianten bis hin zum Jagdbomber Su-27IB.



Tupolew Tu-160

Bauzeit:	seit 1984
Stückzahl:	27
Höchstgeschwindigkeit:	2.220 km/h (Mach 2,06)
Schubkraft:	4 x 245,7 kN (mit Nachbrennern)
Maximale Einsatzflughöhe:	15.544 m
Länge:	54,1 m
Spannweite:	35,6 bis 55,7 m
Treibstoffkapazität:	162.500 l
Reichweite:	7.300 km
Maximales Startgewicht:	275.000 kg
Besatzung (Cockpit):	4

Die Tupolew Tu-160 ist ein strategischer Überschall-Bomber mit Schwenkflügeln. Je nach Flugsituation beträgt seine Spannweite 35,6 bis 55,7 m. Die inoffiziell auch als Weißer Schwan bezeichnete Maschine ist das größte Kampfflugzeug der Welt. Es ist für den interkontinentalen Einsatz vorgesehen. Derzeit sollen 16 Tu-160 im Dienst der russischen Luftwaffe stehen.



Antonov AN-225 Mriya

Bauzeit:	1988
Stückzahl:	2 (keine Serienproduktion; 2. Maschine im Bau)
Höchstgeschwindigkeit:	850 km/h (Mach 0,79)
Schubkraft:	6 x 229,85 kN
Maximale Einsatzflughöhe:	11.000 m
Länge:	84 m
Spannweite:	88,4 m
Treibstoffkapazität:	266.250 l
Reichweite leer:	15.400 km; max. Zuladung: 2.500 km
Maximales Startgewicht:	600.000 kg
Frachtraumvolumen:	1220 m ³
Besatzung:	7, davon 6 im Cockpit

Die in Kiew in der Ukraine gebaute Antonov AN-225 Mriya ist das größte derzeit noch im Einsatz befindliche Flugzeug der Welt. Im Rahmen ihres Erstflugs am 21. Dezember 1988 stellte sie gleich 106 Weltrekorde, darunter den für das höchste Fluggewicht (506,8 Tonnen), auf. Die sechsstrahlige AN-225 wird als Frachtflugzeug eingesetzt.



Northrop B-2 Spirit

Bauzeit:	1988 bis 1997
Stückzahl:	21
Höchstgeschwindigkeit:	ca. 1.010 km/h (Mach 0,94)
Schubkraft:	4 x 84,6 kN
Maximale Einsatzflughöhe:	15.152 m
Länge:	21,0 m
Spannweite:	52,4 m
Treibstoffkapazität:	111.291 l
Reichweite:	bis zu 18.000 km
Maximales Startgewicht:	152.635 kg
Besatzung Cockpit:	2
Preis:	737 Millionen US-Dollar (1997)

Der US-amerikanische Nurflügler Northrop B-2 Spirit ist besser als Stealth-Bomber oder Tarnkappenbomber bekannt. Durch seine spezielle Formgebung ist der Langstreckenbomber von Radarsystemen nur sehr schwer zu entdecken. Der vierstrahlige B-2 war als Kernwaffenträger konzipiert und ist mit 737 Millionen Dollar das mit Abstand teuerste Kampfflugzeug der Welt.



F/A-18E/F Super Hornet

Bauzeit:	seit 1997
Stückzahl:	520 (bis 2012)
Höchstgeschwindigkeit:	1.944 km/h (Mach 1,8)
Schubkraft:	2 x 97,9 kN
Maximale Einsatzflughöhe:	15.240 m
Länge:	18,31 m
Spannweite:	13,62 m
Treibstoffkapazität:	7943 l
Reichweite:	2.346 km
Maximales Startgewicht:	29.937 kg
Besatzung:	E-Modell: 1; F-Modell: 2

Die zweistrahlige Mehrzweck-Kampffmaschine F/A-18 wurde von 1980 bis 2000 von McDonnell Douglas gebaut und primär von der U.S. Navy eingesetzt, wo sie das Rückgrat an Jagdflugzeugen bildet. Sie lässt sich flexibel mit verschiedenen Waffensystemen ausstatten. Die Weiterentwicklung zur größeren Super Hornet lief unter Boeing-Regie, die Indienststellung der F/A-18E/F erfolgte 1999.



Eurofighter Typhoon

Bauzeit:	seit 2003 (Serienproduktion)
Stückzahl:	487 (bis November 2016)
Höchstgeschwindigkeit:	2538 km/h (Mach 2,35)
Schubkraft:	2 x 90 kN (mit Nachbrenner)
Maximale Einsatzflughöhe:	16.765 m
Länge:	16,0 m
Spannweite:	11,0 m
Treibstoffkapazität:	6245 l (Einsitzer)
Reichweite:	3.790 km (bei Überführung)
Maximales Startgewicht:	23.500 kg
Besatzung (Cockpit):	1 bis 2

Der Eurofighter ist eine Gemeinschaftsentwicklung der Länder Deutschland, Großbritannien, Italien und Spanien und wird in diesen auch gebaut. Er ist ein zweistrahliges Mehrzweckkampfflugzeug. Neben den Entwicklerländern setzt unter anderem Österreich auf den Eurofighter, der ab rund 90 Millionen Dollar kostet. Der Erstflug erfolgte 1994, in Serie ging der Eurofighter erst im Jahr 2003.



Airbus A380

Bauzeit:	seit 2005
Stückzahl:	205 (bis Sommer 2016)
Höchstgeschwindigkeit:	961 km/h (Mach 0,89)
Schubkraft:	4 x 311 kN
Maximale Einsatzflughöhe:	13.100 m
Länge:	72,3 m
Spannweite:	79,8 m
Treibstoffkapazität:	320.000 l
Reichweite:	15.200 km
Maximales Startgewicht:	569.000 kg
Besatzung Cockpit:	2
Passagiere:	853

Der Airbus A380 ist ein vierstrahliges Großraumflugzeug, das auf zwei durchgehenden Decks bis zu 853 Passagiere befördern kann. Damit ist der hauptsächlich in Frankreich und Deutschland gebaute A380 das größte in Serie produzierte zivile Verkehrsflugzeug der Welt. Sein Preis liegt bei über 430 Millionen US-Dollar. Der Erstflug erfolgte am 27. April 2007, der erste Passagierflug im Oktober 2007.



Boeing 787-10X Dreamliner

Bauzeit:	seit 2014
Höchstgeschwindigkeit:	961 km/h (Mach 0,89)
Schubkraft:	2 x 340 kN
Maximale Einsatzflughöhe:	13.100 m
Länge:	68,3 m
Spannweite:	60,1 m
Treibstoffkapazität:	ca. 126.300 l
Reichweite:	13.000 km
Maximales Startgewicht:	252.651 kg
Besatzung Cockpit:	2
Passagiere:	323 bis 440

Die zweistrahlige, gut 300 Millionen US-Dollar teure Boeing 787 ist das erste Großraum-Flugzeug, das zu einem Großteil aus Gewichts sparenden Kohlefaser-Verbundwerkstoffen gebaut wurde. Die Leichtbauweise sorgt gemeinsam mit einer verbesserten Aerodynamik und neu entwickelten Triebwerken für einen besonders sparsamen Betrieb.



Airbus A350-1000

Bauzeit:	ab 2016
Höchstgeschwindigkeit:	961 km/h (Mach 0,89)
Schubkraft:	2 x 414 kN
Maximale Einsatzflughöhe:	13.137 m
Länge:	73,78 m
Spannweite:	64,75 m
Treibstoffkapazität:	156.000 l
Reichweite:	14.800 km
Maximales Startgewicht:	308.000 kg
Besatzung Cockpit:	2
Passagiere:	366

Der zweistrahlige Airbus A350 wurde als Konkurrenzmodell zur Boeing 787 entwickelt. Der A350 ist die Passagiermaschine mit dem höchsten Anteil an Kohlefaser-Verbundwerkstoffen an Rumpf- und Tragflächen. Er ist der Nachfolger der weit verbreiteten Airbus-Typen A340 und A330 und besitzt zwei Turbofan-Triebwerke. Größtes Modell ist der A350-1000, der bis zu 366 Passagiere befördern kann.

Was bedeuten die Geräusche bei Start und Landung?

Obwohl das Flugzeug das sicherste Verkehrsmittel ist, ist Flugangst weit verbreitet. Für die meisten Menschen ist Fliegen etwas Außergewöhnliches, eher Unbekanntes. So fällt es ihnen schwer, Geräusche während des Flugs richtig zu interpretieren. Richtig laut wird es im Flugzeug übrigens nie.

Der Ping

Immer wieder ist während des Flugs ein kurzer Ping-Ton zu hören. Er kündigt zum Beispiel an, dass sich die Passagiere bitte anschnallen sollen. Mit diesem kurzen Signal können die Piloten aber auch das Personal bitten, ihnen etwas zu trinken ins Cockpit zu bringen.



Geht das Licht mit der Aufforderung zum Anlegen des Sicherheitsgurts an, wird das Signal von einem akustischen Ping begleitet

Leises Summen

Während des Starts der Triebwerke führen sie einen Selbsttest durch, der ein leises Summen erzeugt. Er läuft computergesteuert ab und ist Teil der Sicherheitschecks vor jedem Start.

Der Landevorgang

Leidet man unter Flugangst, stellt die Landung die größte Herausforderung dar. Üblicherweise erfolgt der Landeanflug manuell. Die Piloten sind bestrebt, den Sinkflug flach und gleichmäßig zu gestalten. Manchmal muss er aber auch etwas steiler erfolgen. Währenddessen passiert die Maschine verschiedene Luftschichten. Dabei kann es zu Turbulenzen und auch einem leichten Absacken der Maschine kommen. Das ist ein normaler, für Piloten voraussehbarer Vorgang und nicht gefährlich. Bei einem besonders warmen Boden oder wenn zuerst über Wasser geflogen wurde, ist mit einem solchen Absacken zu rechnen. Jeder Landeanflug ist anders. Er wird vom Flugverkehr, den geografischen Gegebenheiten in der Zielregion, der Länge der Landebahn und den Wetterbedingungen beeinflusst. Der Sinkflug kann ungleichmäßig erfolgen und von Absacken, Seitenwinden und Turbulenzen begleitet sein. Außerdem ist plötzlich gegebener starker Schub während des Sinkflugs normal. Die oft genannten Luftlöcher gibt es übrigens nicht. Sackt das Flugzeug etwa in großer Höhe ab, haben plötzlich auftretende Abwinde daran Schuld.

Warteschleife

Nicht immer kann ein Flugzeug wie nach Flugplan vorgesehen landen. Stattdessen kreist es mit großem Radius über dem Zielflughafen. Die Ursache liegt nicht in Problemen an der eigenen Maschine. Zu Wartezeiten kommt es, wenn etwa ein anderes Flugzeug dringend landen muss, etwa wegen eines gesundheitlichen Notfalls oder weil es bereits von einem anderen Flughafen umgeleitet wurde und nur noch wenig Treibstoff an Bord hat.

Schnelle Landung

Manchmal wird der Pilot von den Fluglotsen im Tower des Zielflughafens angewiesen, besonders schnell zu landen. Dazu kann ein steiler Sinkflug erforderlich sein, der das Flugzeug durchaus etwas durchschüttelt. Dies alles geschieht innerhalb fest vorgegebener Parameter und stellt für die Maschine keine Gefahr dar. Was sich für die Fluggäste als ruppig und bedrohlich anfühlen mag, liegt innerhalb des üblichen Rahmens und ist unbedenklich.

Fahrwerk ausfahren

Das Fahrwerk wird üblicherweise erst kurz vor der Landung, also wenn der Boden schon recht nahe scheint, hydraulisch ausgefahren. Da das Fahrwerk den Luftwiderstand erheblich vergrößert, ist dies als deutlicher Ruck spürbar. Außerdem ist das Rauschen und Pfeifen des Winds um das Fahrwerk deutlich zu hören.

Aufsetzen

Wenn die Räder des Fahrwerks den Boden berühren, nennt man das Aufsetzen. Es geht meist mit einem leichten Ruck einher. Bei nasser Landebahn oder extremer Witterung kann der Ruck auch härter ausfallen. Damit wird sichergestellt, dass die Reifen feste Haftung auf der Rollbahn haben und das Flugzeug gut steuerbar und abbremsbar bleibt, was der Sicherheit dient. Ein härteres Aufsetzen und schnelles Abbremsen ist auch bei kurzen Landebahnen erforderlich.



Flugzeug im Moment des Aufsetzens auf der Landebahn

Im Angstfall: Die Flugbegleiter beobachten

Werden Sie durch verschiedene Geräusche beunruhigt, beobachten Sie am besten das Bordpersonal. Es weiß alle Geräusche und Flugsituationen aus Erfahrung exakt einzuschätzen. Gehen die Flugbegleiter weiter wie gewohnt ihrer Arbeit nach, ist alles in bester Ordnung.

Fliegen ist das sicherste Verkehrsmittel

Pro Jahr sterben rund 1.000 Menschen bei Flugzeugabstürzen. Das klingt zunächst nach viel, relativiert sich aber bei den rund 60 Millionen Flügen pro Jahr. Im Straßenverkehr lebt es sich ungleich gefährlicher. In ihm mussten alleine in Deutschland 2015 gleich 3.459 Personen ihr Leben lassen. Es hat sich eingebürgert, die Zahl der Toten pro Milliarden Personenkilometern anzugeben. Am gefährlichsten ist demnach in der EU das Motorrad fahren, wo 53 Motorradfahrer pro einer Milliarde Personenkilometer tödlich verunglücken. Das Auto ist da mit 2,9 Toten schon ungleich sicherer. Noch sicherer fährt es sich mit dem Bus (0,17 Tote) und der Bahn (0,04 Tote). Mit nur 0,003 Toten pro einer Milliarde Personenkilometer ist das Flugzeug das mit Abstand sicherste Verkehrsmittel.



Weil Flugzeugunglücke so selten sind, wird weltweit über sie berichtet. Dennoch bleibt das Flugzeug das sicherste Verkehrsmittel

Pioniere der Luftfahrt

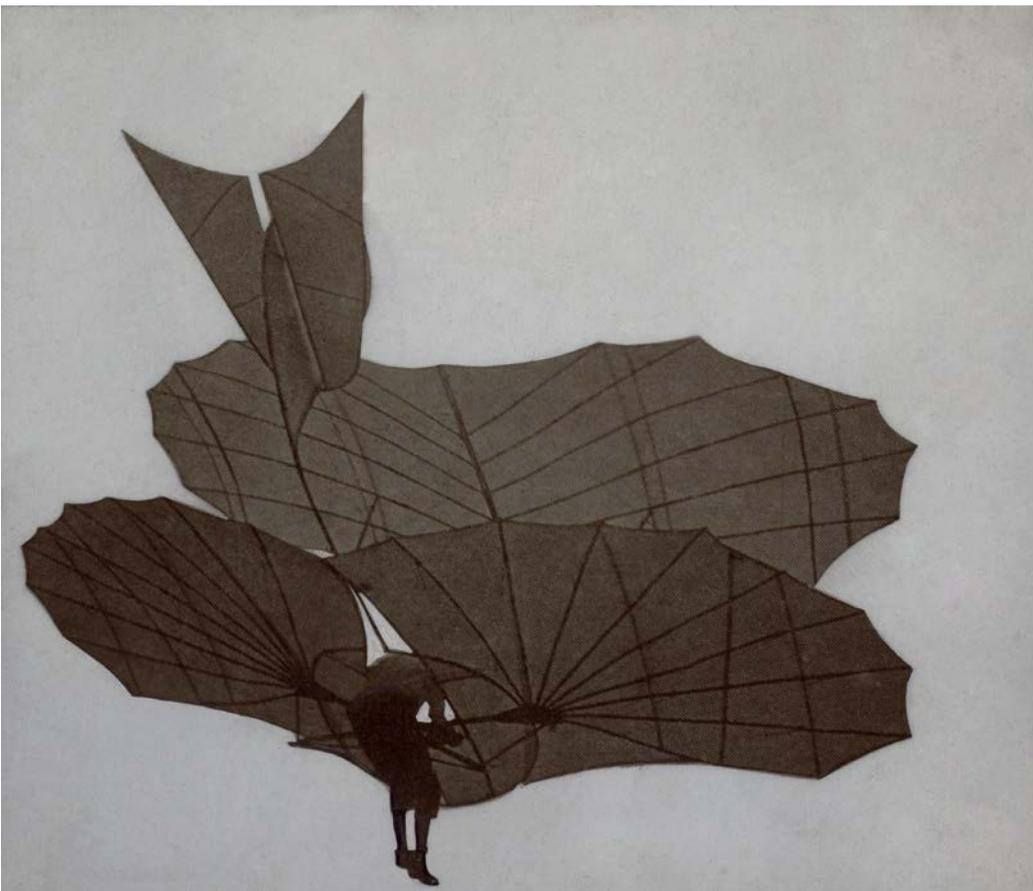
Otto Lilienthal

Der 1848 geborene Deutsche Otto Lilienthal war der erste Mensch, dem mehrfach erfolgreich Gleitflüge gelangen. Erste Flugversuche absolvierte er ab 1891 mit selbst gebauten Flugapparaten. Die ersten Luftsprünge demonstrierte er am Nordhang des Spitzen Berges zwischen Derwitz und Krielow (Brandenburg). Dabei erreichte er Weiten von bis zu 25 Metern. Später erzielte er Flugweiten von bis zu 250 Metern.

Otto Lilienthal stürzte am 9. August 1896 bei Stölln am Gollenberg im brandenburgischen Havelland aufgrund eines plötzlich auftretenden Aufwinds aus 15 Metern Höhe ab. Dabei zog er sich tödliche Verletzungen zu. Die Zahl seiner Gleitflüge wird auf etwa 2.000 geschätzt. Der deutsche Flugpionier führte überdies grundlegende Untersuchungen zur Form von Tragflächen durch. Die physikalischen Beschreibungen haben bis heute Gültigkeit. Damit leistete er unverzichtbare Vorarbeiten für die Entwicklung der Luftfahrt.



Otto Lilienthal (1848 bis 1896) war ein deutscher Luftfahrt-Pionier



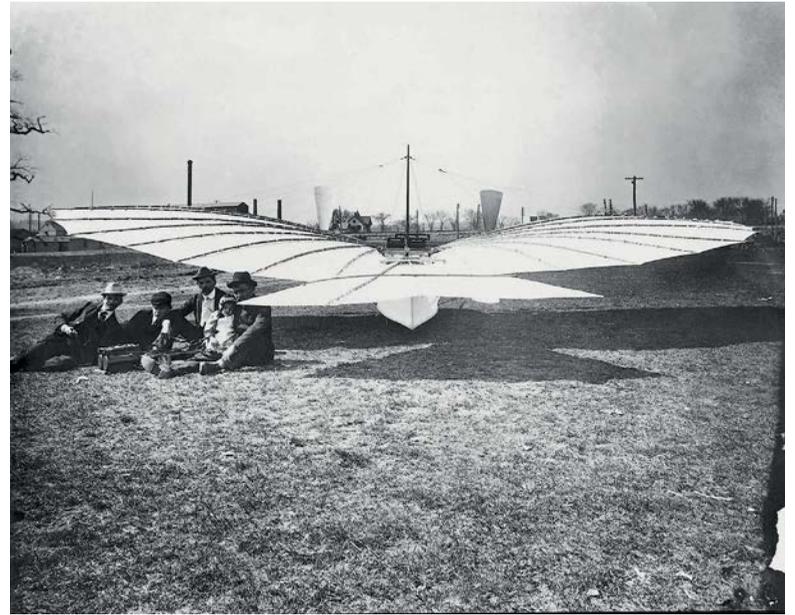
Otto Lilienthal bei einem seiner Doppeldecker-Gleitflüge im Jahr 1895

Gustav Weißkopf

Bis in die jüngste Vergangenheit galten die Brüder Wright als die ersten Menschen, die mit einem motorisierten Flugzeug geflogen sind. Nach jahrzehntelangen Forschungen gilt es inzwischen für viele Fachleute als erwiesen, dass das dem 1874 in Bayern geborenen Gustav Weißkopf schon zweieinhalb Jahre früher gelungen war.

Weißkopf war wohl um 1895 über Brasilien in die USA eingewandert und ging dort verschiedenen Berufen nach. In seiner Freizeit baute er Flugzeuge, bei deren Planung er auf die Erkenntnisse von Otto Lilienthal zurückgriff. Am 14. August 1901 soll er mit seinem Flugzeug Nr. 21 in Bridgeport, Connecticut, eine halbe Meile (rund 800 Meter) weit geflogen sein. Die Maschine hatte, so wie heutige Flugzeuge, nur zwei Tragflächen. Ein selbst gebauter, 20 PS (14,7 kW) starker Motor trieb zwei Propeller, ein zweiter mit 10 PS (7,35 kW) das Fahrwerk an. Das Flugzeug besaß bereits ein Höhenruder. Zum Fliegen von Kurven wurden die Drehzahlen der Propeller verändert. Ein Beweisfoto von dem Flug existiert nicht. Dafür gibt es Berichte über diesen Flug in zwei Lokalzeitungen. Darüber hinaus existiert eine eidesstattliche Erklärung, dass Weißkopf mit einem Arbeitskollegen bereits 1899 einen Flug mit einem dampfbetriebenen Flugzeug unternahm, mit dem die Piloten aber abstürzten.

Von 1901 bis 1910 besaß Weißkopf eine Flugzeugfabrik, in der er vor allem zuverlässige Flugzeugmotoren herstellte. Gustav Weißkopf starb verarmt im Jahr 1927.

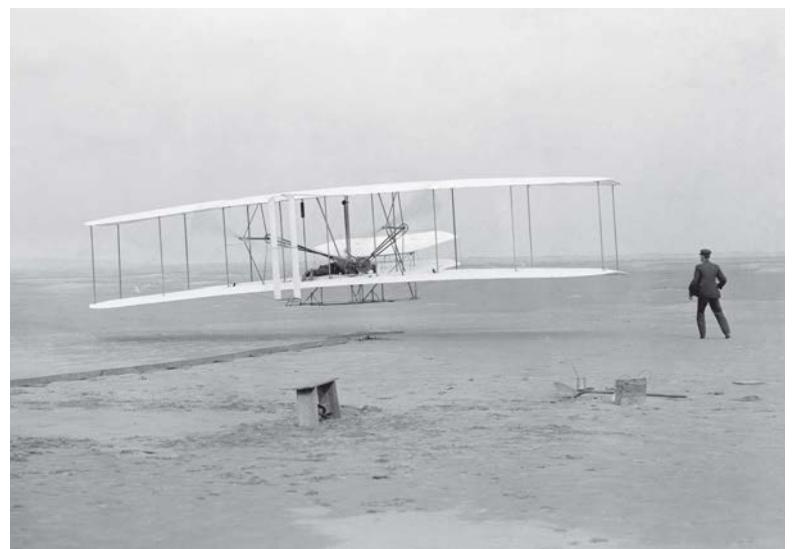


Gustav Weißkopf (rechts) mit seiner Tochter Rose neben seinem Flugzeug Nr. 21 im Jahr 1901

Brüder Wright

Die US-amerikanischen Brüder Wilbur (1867 bis 1912) und Orville (1871 bis 1948) Wright sind bis heute die bekanntesten Flugpioniere. Ihnen gelang am 17. Dezember 1903 der erste eindeutig belegte, weil auch im Bild festgehaltene Flug mit einem Motorflugzeug. Als erstes flog an diesem Tag Orville Wright. Er legte um 10.35 Uhr in zwölf Sekunden 36,6 Meter zurück. Sein Bruder Wilbur schaffte es sogar, die Maschine, den Wright Flyer, 57 Sekunden lang in der Luft zu halten. Dabei brachte er es auf eine Strecke von 260 Metern.

Der aus Holz und Stoffbespannung gebaute Doppeldecker hatte eine Spannweite von 12,3 Metern und war 6,4 Meter lang. Die 340 Kilogramm schwere Maschine wurde von zwei gegenläufigen Propellern, einer vorne und einer hinten, angetrieben. Die besondere Leistung der Wright Brothers bestand ferner darin, dass sie die ersten waren, die mit dem Wright Flyer bereits ein voll lenkfähiges Flugzeug bauten. Ihre Dreiachssteuerung gehört bis heute zu den Grundlagen des Flugzeugbaus.



Der erste Flug von Orville Wright am 17. Dezember 1903 dauerte gerade einmal zwölf Sekunden

John Alcock und Arthur Whitten Brown

Die Namen der beiden Briten sind heute weitgehend unbekannt. Dabei waren sie es, die vom 14. auf den 15. Juni 1919 als erste Menschen nonstop den Atlantik mit einem Flugzeug überquerten. Pilot war der 1892 bei Manchester geborene John Alcock. Er kam im Dezember 1919 bei einem Flugzeugabsturz ums Leben. Arthur Whitten Brown (Glasgow, 1886 bis 1948) war bei dem Flug als Navigator mit an Bord.

Die beiden nutzten einen Vickers F.B.27 Vimy Bomber aus dem Ersten Weltkrieg. Der offene Doppeldecker hatte zwei 12-Zylinder-Motoren mit 270 kW (367 PS). Er wurde für das Vorhaben mit einem 3.900 Liter Treibstoff fassenden Tank versehen.

Gegen 13.45 Uhr starteten die beiden bei St. Johns in Neufundland. Bei Nacht und Wolken waren sie weitgehend im Blindflug unterwegs. Die Kälte führte zu Vereisungen auf den Tragflächen, den Steuerklappen und dem Leitwerk. In dieser schier aussichtslosen Lage kletterte Brown mit einem Messer viermal während des Flugs aus dem Cockpit auf die untere Tragfläche und befreite die Maschine vom Eis. Damit rettete er ihre Leben.

Nach 16 Stunden und zwölf Minuten und einer zurückgelegten Strecke von 1980 nautischen Meilen (3667 Kilometer) landeten sie auf einer Hochmoorwiese bei Clifden in Irland.



Mit diesem umgebauten Vickers-Vimy-Bomber gelang dem Piloten John Alcock und dem Navigator Arthur Whitten Brown am 14./15. Juni 1919 die erste Nonstop-Atlantiküberquerung

Charles Lindbergh

Charles Lindbergh kam 1902 in Detroit auf die Welt. Am 20. Mai 1927 um 7.54 Uhr brach der US-amerikanische Pilot in New York zum ersten Alleinflug über den Atlantik nach Paris auf. Er hatte sich extra für diesen Anlass ein einmotoriges Flugzeug, die Spirit of St. Louis, bauen lassen. Es wurde auf geringen Luftwiderstand und geringes Gewicht getrimmt. Deshalb fehlten ihm unter anderem ein Funkgerät und eine Benzinuhr. Die Maschine wurde von einem Neunzylinder-Sternmotor mit 166 kW (223 PS) angetrieben und schaffte eine Höchstgeschwindigkeit von 220 km/h. Die rund 8,6 Meter lange Spirit of St. Louis hatte eine Spannweite von 14 Metern. In mehreren Tanks fanden 1.705 Liter Treibstoff Platz. Sie machten mehr als die Hälfte des Startgewichts von 2.330 Kilogramm aus.

Lindbergh erreichte Paris nach 33 Stunden und 30 Minuten. Er orientierte sich nur durch den Blick aus dem Fenster und anhand von Landkarten. Zuletzt flog er auf den beleuchteten Eiffelturm zu. Charles Lindbergh wurde mit seiner Pioniertat zum Nationalhelden. In den 1930er Jahren erlangte er noch einmal traurige Berühmtheit aufgrund der Entführung seines Sohnes. Lindbergh starb 1974 auf Hawaii.

Die erste Nonstop-Atlantiküberquerung von Europa nach Amerika gelang übrigens erst am 18. August 1932 dem schottischen Piloten Jim Mollison.

Briefmarke von 1927 anlässlich der Atlantik-Erstüberquerung mit der Spirit of St. Louis



Bertrand Piccard

Pioniere der Luftfahrt gibt es sogar noch heute. Die schillerndste Figur der Neuzeit ist mit Sicherheit der 1958 in Lausanne geborene Schweizer Bertrand Piccard. Er ist Psychiater, Wissenschaftler und vor allem Abenteurer. 1999 schaffte er die erste Weltumrundung mit einem Heißluftballon. Er benötigte dafür 19 Tage, 21 Stunden und 47 Minuten.

Vom 9. März 2015 bis zum 26. Juli 2016 umrundeten Piccard und Andre Borschberg in mehreren Etappen mit einem speziell dafür gebauten Solarflugzeug die Erde. Ihr Flugzeug, die

Solar Impulse 2, hatte eine Startmasse von 1.600 Kilogramm. Die Spannweite betrug 63,4 Meter. Auf der Oberseite der Tragflächen waren 11.628 monokristalline Rückseitenkontakt-Solarzellen mit einer Dicke von 150 μm montiert. Zudem verfügte das Flugzeug über vier je 100 Kilogramm schwere Lithium-Polymer-Akkus mit einer Kapazität von 80 kWh. Angetrieben wurde die Solar Impulse von vier Elektromotoren. Mit ihnen wurde eine durchschnittliche Reisegeschwindigkeit von 70 km/h erreicht.



Mit dem Solarflugzeug Solar Impulse 2 gelang von 2015 bis 2016 die erste Weltumrundung mit Solarstrom

Zukunft der Luftfahrt

Dass sich die Luftfahrt in den kommenden Jahrzehnten verändern wird, liegt auf der Hand. Schon heute machen sich die Flugzeugbauer darüber Gedanken, wie die Maschinen und das Fliegen allgemein im Jahr 2050 oder schon früher aussehen könnte. Im Mittelpunkt der Überlegungen stehen neben der Transportkapazität und der Geschwindigkeit eine größere Effizienz beim Treibstoffverbrauch und geringere Schadstoffemissionen.

Sparsamer

Dass sich die Luftfahrt in den nächsten Jahrzehnten grundlegend ändern wird, darüber sind sich alle Fachleute einig. So hat sich etwa die Flugzeugindustrie verpflichtet, den Schadstoffausstoß bis 2050 zu halbieren.

Flugzeuge der Zukunft werden mit leichteren Materialien gebaut und vielleicht sogar anders aussehen. Chancen werden etwa dem Nurflügler-Konzept eingeräumt, das bislang lediglich bei einigen Militärmaschinen wie etwa Tarnkappenbomben angewendet wurde. Nurflügler bestehen hauptsächlich aus den Tragflächen, in denen auch die Passagiere und die Fracht untergebracht sind. Auf ein separates Höhen- und Seitenleitwerk wird bei ihnen verzichtet. Das bringt aerodynamische Vorteile und könnte so Treibstoff einzusparen helfen. Außerdem sind Nurflügler leise. Ein gravierender Nachteil ist jedoch die geringere Flugstabilität.

Weil man weiß, dass die Ölreserven unserer Erde irgendwann erschöpft sein werden und dass die Abgase unsere Umwelt schädigen, ist man längst dabei, alternative Antriebsformen zu finden. So hat etwa das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR bereits den Einsatz von aus Pflanzen gewonnenem Bio-Kraftstoff getestet.

Auch das Elektro-Flugzeug ist eine für die Zukunft vorstellbare Lösung. Es könnte aus an seiner Oberfläche montierten Photovoltaik-Zellen zumindest teilweise die Energie zum Fliegen gewinnen. Inzwischen ist es bereits gelungen, mit einem nur mit Solarstrom angetriebenen, allerdings sehr leichten Flugzeug die Welt zu umrunden. Eine Alternative wäre das elektrische Fliegen mit Brennstoffzellen.

Das Airbus-Konsortium etwa nennt sein Antriebskonzept für die Zukunft E-Thrust. Bei diesem Hybrid-System sollen mehrere elektrische Triebwerke den Schub für das Flugzeug erzeugen.

Als Hauptenergiequelle soll eine Gasturbine dienen, die während des energieintensiven Starts die E-Triebwerke unterstützt und während des Flugs sowohl den Strom für den E-Antrieb liefert als auch die Speicherbatterien auflädt. Im Sinkflug wiederum kann die Gasturbine abgeschaltet werden. Die E-Triebwerke arbeiten dann als Generatoren und laden die Batterien auf.

Formationsflug

Airbus geht in einer Vision mit dem Namen Smarter Skies für das Jahr 2050 davon aus, dass Flugzeuge in der Lage sein werden, die effizienteste und umweltfreundlichste Route unter Berücksichtigung aktueller Wetterdaten von selbst zu finden. In einer weiteren Vision nimmt man sich die Natur zum Vorbild. So könnten etwa Linienmaschinen in Formationen ähnlich wie Vogelschwärme fliegen. So ließe sich ihr Energieverbrauch verringern.

Neue Kabinengestaltung

Geht es nach den Ideen der Flugzeug-Visionäre, könnten Flugzeuge im Jahr 2050 mit weitgehend durchsichtigen Kabinen einen Panoramablick auf die Wolken zulassen. Damit soll Fliegen viel unmittelbarer und direkter erlebt werden. Weiterhin sollen 2050 die verschiedenen Klassen in den Passagiermaschinen der Vergangenheit angehören. Stattdessen soll es in den Flugzeugen verschiedene Bereiche geben, die an die aktuellen Bedürfnisse der Passagiere angepasst sind.



Neu gestaltete Flugkabinen sollen im Jahr 2050 einen weitgehend ungestörten Blick auf die Wolken erlauben



In Zukunft könnten Formationsflüge nach Art der Vogelschwärme helfen, Treibstoff zu sparen

Bildnachweis

Airbus: 9 m. r., 9 u. r., 18 o., 18 u., 19 u. l., 22 r., 23 l., 23 u., 34 l., 34 r., 35 o., 46 r., 47 r., 55 o., 55 u. **Boeing:** 6 l., 16 o., 40 l., 45 r., 47 l.; Library of Congress: 51 u. **Engine Alliance:** 4; **Eurofighter:** 46 l.; **Imago:** Arkivi 9 u. l., United Archives International: 10 u., 39 l., 52 o. **Lockheed Martin:** 11, 36 r. **Northrop Grumman:** 45 l. **OAC:** 44 l. **Pilatus Aircraft Ltd:** 7 u. **Pratt & Whitney:** 5 u., 7 o. **Safran:** 9 o. r., 10 o., 12 o., 12 u., 13 l., 13 o. 13 u., 14 l., 14 o., 15 o. 15 u., 16 u., 23 r. **Shutterstock:** an131313: 20; Cholakov: 17 u.; O. Coskun: 21; chrisdorney: 52 u.; Everett Historical: 50 l., 50 r.; Fotoluminate LLC: 9 o.l.; U. Hässler: 40 N. Glado: 48; r.; InsectWorld: 19 u., 37 r.; I. Karasi 49 l.; A. Khachatryan: 42 l., 43 r.; M. Muchslocher: 22 l.; ra3m: 6 u.; L. Radin 53; N. Murmakova: 44 r.; Senohrabek 41 r.; Shatilov: 5 o.; Simon_g: 9 m.l.; D. Steen 8; V. Vasilis: 35 u.; C. Wunderlin: 12 r.; S. Yotov 36 l.; IanC66: 39 r.; A. Zavadskis: 49 r. **Wikimedia:** J. Dahl: 14 u.; I. Dunster: 17 o.; Garitzko: 19 o.; V. Gribayedoff: 51 o.; D. Mottl: 42 r. (Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International); NASA: 38 r., 41 l.; Noop1958: 38l.; Unbekannter Autor: 6 o., 37 l.

Impressum

© 2017 Franzis Verlag GmbH, Richard-Reitzner-Allee 2, 85540 Haar bei München
Innovationen, Irrtümer und Druckfehler vorbehalten. 2017/01

www.elo-web.de

Bausatz und Bauanleitung: © Haynes Publishing
Autor: Thomas Riegler
Redaktion: SCOUTSOURCE.de COMMUNICATION
Copy Editor: Claudia Fliedner
Coverdesign: www.ideehoch2.de
Satz: G&U Language & Publishing Services GmbH
ISBN 978-3-645-67002-1

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Das Erstellen und Verbreiten von Kopien auf Papier, auf Datenträger oder im Internet, insbesondere als PDF, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlags gestattet und wird widrigenfalls strafrechtlich verfolgt.

Die meisten Produktbezeichnungen sowie Firmennamen und Firmenlogos, die in diesem Werk genannt werden, sind in der Regel gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen und sollten als solche betrachtet werden. Der Verlag folgt bei den Produktbezeichnungen im Wesentlichen den Schreibweisen der Hersteller.

Alle in diesem Buch vorgestellten Bauanleitungen und Tipps wurden mit der größtmöglichen Sorgfalt entwickelt, geprüft und getestet. Trotzdem können Fehler im Buch und im Bausatz nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag und Autor haften in Fällen des Vorsatzes oder der groben Fahrlässigkeit nach den gesetzlichen Bestimmungen. Im Übrigen haften Verlag und Autor nur nach dem Produkthaftungsgesetz wegen der Verletzung des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit oder wegen der schuldhaften Verletzung wesentlicher Vertragspflichten. Der Schadensersatzanspruch für die Verletzung wesentlicher Vertragspflichten ist auf den vertragstypischen, vorhersehbaren Schaden begrenzt, soweit nicht ein Fall der zwingenden Haftung nach dem Produkthaftungsgesetz gegeben ist.

Liebe Kunden!

 Dieses Produkt wurde in Übereinstimmung mit den geltenden europäischen Richtlinien hergestellt und trägt daher das CE-Zeichen. Der bestimmungsgemäße Gebrauch ist in der beiliegenden Anleitung beschrieben. Bei jeder anderen Nutzung oder Veränderung des Produktes sind allein Sie für die Einhaltung der geltenden Regeln verantwortlich. Bauen Sie das Produkt deshalb genau so auf, wie es in der Anleitung beschrieben wird. Das Produkt darf nur zusammen mit der Anleitung und diesem Hinweis weitergegeben werden.



Das Symbol der durchkreuzten Mülltonne bedeutet, dass dieses Produkt getrennt vom Hausmüll als Elektroschrott dem Recycling zugeführt werden muss. Wo Sie die nächstgelegene kostenlose Annahmestelle finden, sagt Ihnen Ihre kommunale Verwaltung.

Der große Technik-Bausatz

Flugzeugturbine Jet-Engine

Verstehen und erleben Sie die Funktionsweise von Luftstrahltriebwerken – Meisterwerke der Ingenieurskunst, die unsere Welt näher zusammengebracht und die Art, wie wir heute reisen und wirtschaften, revolutioniert haben. Mit diesem Paket bauen Sie in rund zwei Stunden das transparente Funktionsmodell einer Flugzeugturbine. Das ist Faszination Technik hautnah!

Discover the inner workings of a jet engine – a masterpiece of engineering that has helped shape the world as we know it. Today, international and long distance travel would be unthinkable without this groundbreaking invention. With this kit you'll assemble a moving scale model of a jet engine in around two hours. Discover the fascinating world of aeronautical engineering with the whole family.



Jet engine designed and developed by John Anson

Zusätzlich erforderlich: 3 x 1,5-V-Batterien (Typ AA)
Additionally required: 3 x 1.5 V batteries (AA)

Mehr Franzis-Produkte im Internet: www.franzis.de
More Franzis products online: www.franzis.de

© 2017 Franzis Verlag GmbH, Richard-Reitzner-Allee 2, D-85540 Haar, Germany
Innovationen, Irrtümer und Druckfehler vorbehalten.
Subject to innovation, errors and printing errors. 2017/01



Das Handbuch

Das umfassende Begleitbuch bietet jede Menge ansprechend aufbereitetes Wissen zu Düsentriebwerken und Strahlflugzeugen. Die technische Funktionsweise wird erlebbar und die Entwicklungsgeschichte von den ersten Turbinen bis zu den Hochleistungstriebwerken moderner Düsenjets unterhaltsam vermittelt. Zeigen Sie, dass ein Ingenieur in Ihnen steckt, und legen Sie los! Mit der ausführlichen Schritt-für-Schritt-Anleitung bauen Sie Ihr Düsentriebwerk für Ihre Werkstatt, Ihren Schreibtisch oder Ihr Wohnzimmer.

Manual

This comprehensive guide provides plenty of information and fun facts about jet engines and jet aircraft. The technical concepts and the history of development from the first jet engines to the high performance turbines of today are described in vivid detail. Awaken your inner engineer and get building! The detailed step-by-step instructions help you build your own jet engine model for the workshop, office or living room.

Der Bausatz

Mit über 60 Teilen bauen Sie ein detailliertes Modell einer Turbine, in dem sich alle Komponenten wie beim großen Vorbild bewegen. Die Bauteile lassen sich einfach zusammenstecken und -schrauben – ganz ohne Kleber.

Construction Kit

Build a replica jet engine with more than 60 parts and transparent side to reveal its inner workings. All major engine parts move realistically. No glue needed – components screw together.

This is not a toy! Not suitable for children under 14 years.

Für Kinder unter 14 Jahren nicht geeignet!

