



Quarks & Co „Abenteuer Fliegen“

**Autoren:**

Axel Bach
Alexandra Hostert
Daniel Münter
Corinna Sachs
Tanja Winkler

Redaktion:

Claudia Heiss

Am 17. Dezember 1903 gelang Wilbur und Orville Wright in Kitty Hawk/North Carolina der erste "richtige" Motorflug. **Quarks & Co** nimmt das Jubiläum des ersten motorisierten Flugs zum Anlass, auf 100 Jahre "Abenteuer Fliegen" zurückzublicken und einen Ausblick in die Zukunft zu wagen. Rund um das Thema Fliegen beschäftigt sich **Quarks & Co** unter anderem mit folgenden Fragen: Wie funktioniert das Fliegen und der Auftrieb überhaupt? Welche Rolle spielt die Form der Flügel? Wie gefährlich ist Fliegen tatsächlich und wie sind wir gegen Notfälle geschützt?

Mit ihrem "kleinen Hopser" von 36 Metern gingen die Gebrüder Wright als die Pioniere des Motorflugs in die Geschichtsbücher ein. Aber gebührt ihnen tatsächlich diese Ehre? Bereits am 18. August 1903 gelang Karl Jatho in Hannover ein 18 Meter weiter und zwei Meter hoher Luftsprung. Gustav Weißkopf behauptet sogar, schon 1901 auf Anhieb in 18 Metern Höhe 800 Meter weit geflogen zu sein. Wer war wirklich der Erste? **Quarks & Co** geht dieser Frage nach.

Das Flugzeug ist das sicherste Verkehrsmittel überhaupt, behauptet die Luftfahrtindustrie. Aber wie gefährlich ist Fliegen wirklich? Wir haben uns die verschiedenen Statistiken einmal genauer angesehen. Zusätzlich beschäftigt sich **Quarks & Co** mit der Frage: Wie sieht die Zukunft der Luftfahrt aus? Ist das unbemannte Flugzeug "Helios" beispielsweise eine Alternative für Satelliten? Mit seinen 62.000 Solarzellen hält es den Höhenrekord von 29.500 Metern und kann sich monatelang in der Luft halten. Und wie sieht die Zukunft des Passagierflugs aus: Wie lässt sich der immer stärker wachsende Flugverkehr und die enorme Dichte an Flughäfen in den Griff bekommen?

100 Jahre in der Luft - die Geschichte des ersten Motorfluges



So gingen sie in die Geschichtsbücher ein – Wilbur und Orville Wright



"Seit wir kleine Kinder waren, haben mein Bruder Orville und ich zusammen gelebt, gespielt, gearbeitet und ... gedacht." Wilbur Wright



In Kitty Hawk lebten die Wright Brüder unter einfachsten Bedingungen

Gerade mal 12 Sekunden lang hält Orville Wright sein Flugzeug "Flyer" in der Luft, bevor er nach einer Flugstrecke von 37 Metern wieder landet. Das war am 17. Dezember 1903. Mit diesem ersten Motorflug der Welt schreiben die Gebrüder Orville und Wilbur Wright das erste Kapitel in der Geschichte der Fliegerei. Und schon beim vierten Versuch, noch am selben Tag, fliegt Wilbur Wright innerhalb von 59 Sekunden über 260 Meter weit.

Die Unzertrennlichen

Trotz eines Altersunterschiedes von 4 Jahren bleiben Wilbur und Orville Wright ein ganzes Leben lang unzertrennlich. Bereits im Kindesalter beginnt ihr Traum vom Fliegen, als sie von ihrem Vater ein kleines Propellerspielzeug geschenkt bekommen. Wenige Jahre später, als Teenager, verbessern die beiden Technikbegeisterten eine Druckmaschine und gründen eine kleine Druckerei. Im Jahr 1892 – Orville ist erst 21 Jahre alt – eröffnen sie die "Wright Cycle Company": Verleih, Reparatur und etwas später sogar die firmeneigene Fabrikation von Fahrrädern. Für die erfolgreichen Geschäftsleute Wilbur und Orville Wright steht von nun an das Geschäft im Mittelpunkt ihres Lebens – Frauen, Alkohol und lasterhaftes Vergnügen sind tabu.

Von der Idee zum Ziel

Im Mai 1899 bittet Wilbur Wright in einem Brief an das Smithsonian Institut in Washington darum, man möge ihm alles zuschicken, was bisher zum Thema "Fliegen" veröffentlicht wurde. Systematisch studieren die Brüder alle Unterlagen, Publikationen und Pläne berühmter Vorgänger wie Cayley, Pénau, Lilienthal und Chanute. Sie forschen an der Entwicklung von Gleitfliegern, die allerdings alle ohne Motor bleiben. Besonders die Gleitflüge Otto Lilienthals, der 1896 bei einem Absturz ums Leben kam, sollen einer Legende nach die Initialzündung für die erste Flugzeug-Konstruktion der Wrights gegeben haben. Ab 1899 machen sie sich an die Arbeit.

Beim staatlichen Wetteramt fragen die Brüder nach, wo optimale Bedingungen für die ersten Flugversuche herrschen – man empfiehlt ihnen den Ort Kitty Hawk in North Carolina. Denn dort an der Küste gibt es ausreichend Wind, viel Platz und Dünen, um Stürze abzufangen. Mit Ihrem ersten Gleiter beginnen sie im Jahr 1900 die ersten, nur Sekunden dauernden Testflüge. Um das Gewicht eines Mannes zu tragen, reicht selbst bei starkem Wind der Auftrieb nicht. So entwerfen und bauen Wilbur und Orville ein größeres Modell, basierend auf den Berechnungen Otto Lilienthals. Doch der Erfolg bleibt aus: Der Gleiter kippt immer wieder zu Seite.

Von Auftrieb und Durchhaltevermögen



Im Windkanal testeten die Gebrüder Wright Flügelformen und Anstellwinkel

Die Brüder geben nicht auf. Zurück in ihrer Werkstatt in Dayton/Ohio beschließen sie, eigene Daten für den Auftrieb zu ermitteln und bauen einen Windkanal. Sie testeten verschiedene Flügelmodelle und Anstellwinkel und suchen so nach der optimalen Flügelform. Dadurch entwickeln sie immer wieder neue Gleiter.



Der Motor - ein Leichtgewicht

Vom Wind getragen

In nur 4 Jahren erfinden die Gebrüder Wright alles, was zum Fliegen nötig ist. Das Wichtigste dabei ist die Steuerung. Schnell erkennen sie, dass ein kontrollierter Flug nur dann möglich ist, wenn man das Fluggerät in drei Ebenen steuern kann: seitlich, nach oben und nach unten. Die kompletten Flügel werden mit Drähten über einen Hebel bewegt. Zusammen mit dem hinteren Seiten- und dem vorderen Höhenruder kann der Pilot erstmals in jede Richtung steuern. Es fehlt nur noch der passende Antrieb, ein Motor. Vor allem leicht soll er sein. Doch das ist ein Problem, denn die Automobilfirmen dieser Zeit können einen solchen Motor nicht liefern. Also lassen die Wrights einen Motor entwickeln, der mit nur 82 kg und 13 PS für diese Zeit ein ausgesprochenes Leichtgewicht ist.



Sie waren mutig – aber nicht leichtsinnig. Jeder Gleiter wurde zuerst als Drachen ausprobiert

Ein Foto für die Nachwelt

Bis heute ist umstritten, ob die Gebrüder Orville und Wilbur Wright wirklich die ersten Menschen waren, die geflogen sind. Viele Nationen feiern ihre eigenen Helden. So soll der Franzose Clement Ader bereits im Jahr 1890 geflogen sein. Und dem 1895 in die USA ausgewanderten Gustav Weißkopf, der sich fortan Gustave Whitehead nannte, sollen am 14. August 1901 zwei motorisierte Flüge über 800 Meter gelungen sein. Doch Beweise blieben beide schuldig. Die Gebrüder Wright jedoch waren so klug und vorausschauend, einen Fotoapparat bereitzuhalten und so ihre mutige Tat für die Nachwelt zu dokumentieren.



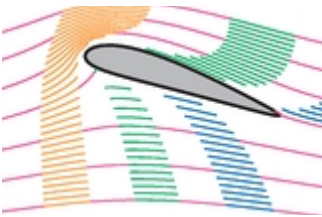
Das berühmte Beweisfoto – Der erste Flug!

Corinna Sachs

Warum fliegt ein Flugzeug? Alles eine Sache des Auftriebes

Von Tragflächen und Luftströmung

Zu erklären, warum ein Flugzeug fliegt, ist nicht einfach. Es gibt eine vollständige theoretische Erklärung, die aber wenig anschaulich ist (siehe unten, die mathematische Erklärung: Zirkulation). Viele einfache Darstellungen wiederum liefern nur eine unzulängliche Erklärung für das Geschehen am Flügel.

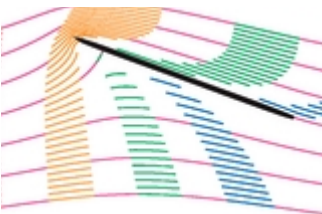


Darstellung der Strömung um eine Tragfläche

Unstrittig ist, dass für den so genannten dynamischen Auftrieb eine (Trag-)Fläche und ein Luftstrom nötig sind. Dabei ist es übrigens egal, ob die Fläche sich bewegt und die Luft stillsteht oder anders herum. Deshalb kann man Tragflächen auch im Windkanal testen. Steht die Fläche angekippt oder ist sie asymmetrisch geformt, so verändert sich der Luftstrom um sie herum. Für eine aufwärts gerichtete Kraft muss die Vorderkante der Tragfläche nach oben gekippt sein. Dann strömt die Luft auf der Oberseite der Fläche schneller als auf der Unterseite.

Mit diesen unterschiedlichen Geschwindigkeiten sind auch verschiedene Drücke auf den beiden Seiten der Tragfläche verbunden. Oben entsteht ein Unterdruck, unten ein Überdruck. Diese Druckdifferenz hebt das Flugzeug an – es wird leichter. Je schneller sich die Tragfläche durch den Luftstrom bewegt, desto größer sind die Druckunterschiede – bis schließlich die Auftriebskraft das Flugzeug in der Schwebelage hält. Die Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Strömungsgeschwindigkeit und Druck geht auf den Schweizer Physiker Daniel Bernoulli (1700 – 1782) zurück.

Auf die Wölbung kommt es an?

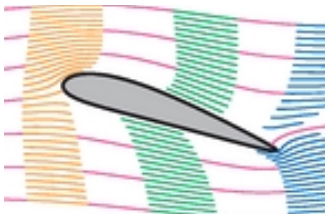


Darstellung der Strömung um ein Brett

Manche Lehrbücher und viele populärwissenschaftliche Schriften behaupten, dass für den Auftrieb eines Flügels eine Wölbung an der Oberseite der Tragfläche notwendig ist. Genau genommen ist diese Behauptung falsch. Auch eine symmetrische, auf beiden Seiten gleich stark gewölbte Tragfläche erfährt Auftrieb und sogar ein ungewölbtes, flaches Brett kann fliegen. Der Flügel des "Flyer 1" der Brüder Wright war zum Beispiel eine dünne, nur wenig gekrümmte Fläche.

Es ist jedoch kein Zufall, dass praktisch alle modernen Flugzeuge Flügel haben, die auf der Oberseite eine stärkere Wölbung aufweisen. Diese Form hat nämlich den Vorteil, dass sie den Auftrieb über einen weiten Bereich von Fluglagen liefert. Besonders bei sehr geringen Geschwindigkeiten oder hohen Anstellwinkeln der Tragflächen kann sich die Luftströmung am Flügel verändern und der Auftrieb schlagartig verschwinden. Dieser so genannte Strömungsabriss (siehe Text 3 "Vereiste Tragflächen") tritt bei gewölbten Tragflächen wesentlich später als bei ungewölbten oder flachen Profilen auf. Flugzeuge nutzen diesen Vorteil intensiv bei der Landung. Sie verstärken die Krümmung des Flügels noch durch das Ausfahren der Landeklappen. So kann der Pilot kurz vor der Landung die Geschwindigkeit noch weiter reduzieren, ohne dass die Strömung abreißt.

Der Anfahrwirbel und seine Wirkung



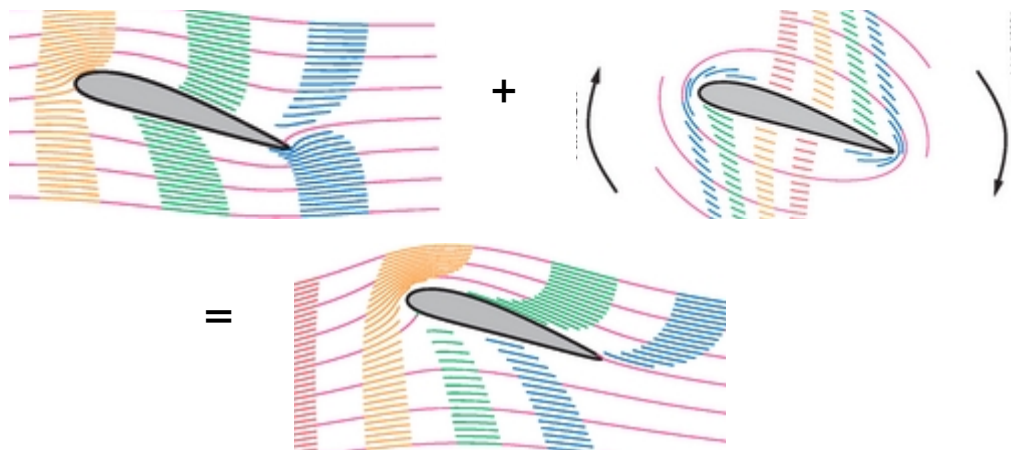
Darstellung der Strömung um eine flache Tragfläche ohne Auftrieb

Mit der Geschwindigkeit des Luftstroms und der herrschenden Druckunterschiede am Flügel lässt sich der Auftrieb vereinfacht beschreiben. Es erklärt jedoch nicht alles. Um zu verstehen, wie es zu den unterschiedlichen Geschwindigkeiten über und unter dem Flügel kommt, muss man das Geschehen beim Start betrachten. Der Großteil der Strömung entsteht durch die Luftverdrängung der Tragfläche. Bewegt sich die Tragfläche durch die Luft, hebt sich ein Teil der Luft vor der Tragfläche nach oben und ein Teil fließt direkt unterhalb der Tragfläche entlang. Dabei entsteht erst einmal eine Strömung, die keinen Auftrieb erzeugt: Diese auftriebslose Strömung stellt sich ein, wenn ein Flugzeug ganz langsam anrollt. Die Geschwindigkeit über und unter der Tragfläche ist gleich.

Beim Losfahren spitzen sich die Verhältnisse an der Hinterkante der Tragfläche zu. Wegen der Zähigkeit der Luft und ihrer Reibung an der Tragfläche entsteht ein Wirbel an der Tragflächenhinterseite, der sich ablöst und hinter dem Flugzeug zurückbleibt. Dadurch ändern sich die Strömungsverhältnisse am ganzen Flügel und es entsteht ein Druckunterschied zwischen Ober- und Unterseite: Dieser erzeugt den Auftrieb!

Die mathematische Erklärung: Zirkulation

Mathematisch lässt sich die Strömung mit Auftrieb als Kombination der Strömung ohne Auftrieb mit einer Zirkulation beschreiben.



Diese Zirkulation ist jedoch eine mathematische Konstruktion. Es strömen in der Realität keine Luftmoleküle nach vorne.

Daniel Münter

Wenn Tragflächen vereisen

Schlechte Aerodynamik – die Angst vor dem Strömungsabriss

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für den Auftrieb ist, dass die Luft am Flügel möglichst gleichmäßig entlang fließt. Der Experte spricht von einer laminaren Strömung, wenn sich kaum Wirbel und Turbulenzen bilden. Turbulenzen haben zwei negative Effekte für das Flugzeug: Sie erhöhen den Widerstand und verschlechtern den Auftrieb.

Die Oberfläche eines Flügels ist sehr glatt, um die Luft nicht zu verwirbeln. Jede Ablagerung oder Verunreinigung, etwa durch Schnee oder Eis, verschlechtert die Flugeigenschaften. Im schlimmsten Fall sind die Turbulenzen am Flügel dadurch so stark, dass der Auftrieb völlig versagt. Das Flugzeug stürzt ab. Dieser so genannte Strömungsabriss kann aber auch bei intakten Tragflächen auftreten, wenn der Pilot das Flugzeug "überzieht", d.h. die Tragflächen zu stark gegen die Strömung anstellt. Außerdem gibt es eine minimale Geschwindigkeit, die "Stall-Speed", unter der die Strömung ebenfalls abreißt. Der Pilot kennt diese Geschwindigkeit genau und versucht sie im Moment des Aufsetzens bei der Landung zu erreichen.

Das tückische an vereisten Tragflächen ist, dass sich die Punkte, an denen das Flugzeug "überzieht" oder "stalled", verschieben. Der Auftrieb versagt also in Situationen, die unter normalen Flugbedingungen völlig unproblematisch sind.

Wann vereisen Flugzeuge?

Es gibt verschiedene Situationen, unter denen Flugzeuge vereisen können. Die offensichtlichste ist kaltes Wetter am Boden. Schon feiner Regen bei Temperaturen um den Gefrierpunkt kann sich auf den Tragflächen absetzen, aber auch Schneefall und Graupel stellen eine Gefahr dar. Wird ein Flugzeug für den Start vorbereitet, so zählt eine Enteisung der Tragflächen zum Pflichtprogramm. Unter extremen Vereisungsbedingungen wie gefrierendem Regen wird ein Flugplatz für den gesamten Verkehr gesperrt.

Eis kann sich auch im Flug auf den Tragflächen bilden. Das passiert meist in Wolken, deren Wasser unter 0 Grad Celsius abgekühlt ist, ohne zu gefrieren. Trifft dieses unterkühlte Wasser auf den Flugzeugrumpf oder die Flügel, so gefriert es sofort. Einen Spezialfall bilden so genannte "Supercooled Large Droplets", also besonders große Tropfen unterkühlten Wassers. Forscher des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und der Universität Hannover haben herausgefunden, dass unter diesen extremen Bedingungen das Eis mit bis zu 4 Millimetern pro Sekunde wächst.

Die unterschätzte Gefahr

Immer wieder kommt es wegen der Vereisung von Tragflächen zu schweren Unfällen. Forscher der Universität Hannover schätzen, dass zwischen 50 und 100 Menschen weltweit jedes Jahr bei diesen Unglücksfällen sterben. In seltenen Fällen werden die Piloten von nicht vorhergesehenen Vereisungsbedingungen überrascht. Menschliches

Versagen ist jedoch wesentlich häufiger die Ursache eines Absturzes. Manche Flugzeugführer, vor allem die kleiner Maschinen, unterschätzen die Gefahr, die von der Vereisung ausgeht und fliegen trotz Warnung in gefährdete Gebiete. Große Flugzeuge sind eher in Startunfälle verwickelt. Ein solcher tragischer Unfall ereignete sich am 13. Januar 1982 in Washington, D.C., USA. Der Pilot einer Boeing 737 ignorierte die Enteisungsvorschriften und stürzte mit seiner Maschine kurz nach dem Start in das eisige Wasser des Flusses Potomac. 87 Menschen kamen bei diesem Unglück ums Leben.

Seit einigen Jahren gibt es internationale Forschungsprogramme, um Vereisungsbedingungen in der Luft besser vorhersagen zu können. Ein besonderer Fokus liegt auf dem Phänomen der "Supercooled Large Droplets".

Technik contra Vereisung



Enteisung auf dem Frankfurter Flughafen

Flugzeuge sind Eis und Schnee nicht hilflos ausgeliefert. Vor dem Start werden große Passagiermaschinen bei Bedarf enteist, indem sie mit heißem Dampf abgetaut werden. Zusätzlich sprühen die Bodencrews Frostschutzmittel auf den Flugzeugkörper um zu verhindern, dass sich neues Eis bildet. Nach dieser Prozedur hat der Pilot nur wenige Minuten, in denen er starten darf. Wird diese Zeit überschritten, so muss die Maschine nochmals enteist werden.

In vielen Flugzeugen sind auch Vorkehrungen zur Enteisung während des Fluges eingebaut. Große Passagiermaschinen können ihre Flügel meist durch heiße Luft aus den Triebwerken oder elektrische Heizmatten abtauen. Mittelgroße und einige kleine Flugzeuge haben an Tragflächen, Triebwerken und Leitwerk oft aufblasbare Gummilippen, so genannte "Boots". Diese werden mit Pressluft aufgeblasen und sprengen so den Eispanzer ab. Viele kleine Flugzeuge verfügen jedoch über keine Möglichkeiten zur Enteisung. Diese Maschinen dürfen gar nicht unter Vereisungsbedingungen fliegen und müssen sofort Ausweichmanöver einleiten, falls sie unvorhersehbar in solche Bedingungen geraten.

Alle anderen Typen müssen nachweisen, dass sie mit moderaten Vereisungsbedingungen zurechtkommen. Vor der ersten Zulassung wird bei ihnen geprüft, ob sie ein bestimmtes Maß an Vereisung tolerieren. Dazu werden die Tragflächen während des Fluges mit einem Sprühflugzeug künstlich vereist oder es werden gezielt Wolken mit unterkühltem Wasser angefliegen.

Daniel Münter

Wie sicher ist Fliegen?

Wann ein Unfall ein Unfall ist



Piloten trainieren in einem Simulator alle möglichen Störungen und Notfälle

Nicht jeder unvorhergesehene Defekt in der Luft gilt als Unfall. Profis unterscheiden zwischen Unfällen und Störungen. Der Unterschied liegt vor allem in den Konsequenzen: Zu den Störungen zählen zum Beispiel Teilausfälle der Bordelektronik oder ähnliche Vorfälle, die an Ort und Stelle behoben werden können. Oft sind diese so ungefährlich, dass die Passagiere davon völlig unberührt bleiben. Von einem Unfall spricht man, wenn entweder das Flugzeug stark beschädigt wird oder Personen verletzt oder getötet werden. Zum Glück kommt das selten vor.

Mit halber Kraft



Normalerweise herrscht im Inneren einer Kabine ein Luftdruck wie auf der Zugspitze

Viele der Szenarien in Katastrophenfilmen spiegeln die Realität nicht wider. So ist beispielsweise ein Flugzeug bei einem Ausfall eines Triebwerks längst nicht in akuter Absturzgefahr. Die meisten Passagierflugzeuge haben heutzutage zwar nur zwei Triebwerke – doch wenn ein Triebwerk ausfällt, kann das Flugzeug mit dem anderen noch weiterfliegen und landen. Und sogar starten: Wenn ein Triebwerk während des Starts – noch auf der Startbahn – ausfällt und das Flugzeug schon die Geschwindigkeit zum Abheben erreicht hat, kann der Pilot darüber entscheiden, ob er den Startvorgang fortsetzt oder nicht. Allerdings hat ein Flugzeug mit einem Triebwerk eine geringere Schubkraft und fliegt dann in einer niedrigeren Reiseflughöhe. Aus Sicherheitsgründen fliegen viele Piloten in einem solchen Fall den nächsten Flughafen an. Denn ein Ausfall des zweiten Triebwerks ist zwar sehr unwahrscheinlich, tritt dies aber ein, erhöht sich das Risiko für einen schweren Unfall. Doch selbst ohne Triebwerke fällt ein Flugzeug nicht wie ein Stein vom Himmel, sondern kann noch gelandet werden.

Innen und außen

Es passiert äußerst selten, aber kommt dennoch vor: Ein Flugzeug verliert während des Fluges ein Kabinenfenster. Auch hier stimmt das Bild aus vielen Katastrophenfilmen nicht mit der Wirklichkeit überein: Ein Mensch wird auf keinen Fall aus der Maschine gesogen. Durch den Druckunterschied zwischen der Luft außerhalb und innerhalb der Kabine kommt es zu einem schnellen und kurzen Druckausgleich, bei dem für kurze Zeit auch Gegenstände durch die Kabine geschleudert werden können. Danach herrscht im Inneren der Kabine der gleiche Luftdruck wie außen – die Sauerstoffmasken fallen dann automatisch aus ihren Halterungen. Und die Piloten steuern das Flugzeug sofort in tiefere Lagen, um physiologisch erträgliche Luftdruckverhältnisse zu erreichen.

Wenn es brennig wird

Ein Brand an Bord ist vor allem wegen der Rauchentwicklung für Passagiere und Besatzung gefährlich. Die meisten Brände können an Ort und Stelle gelöscht werden. Gelingt dies nicht, steuern die Piloten die nächste Landemöglichkeit an. Über dem Meer bereiten sie eine Wasserlandung vor, über Land steuern sie meist den nächsten



Die meisten Brände können an Ort und Stelle gelöscht werden

Flughafen an. Die Piloten melden dem Flughafen diese Notlage und das bedeutet, dass dieses Flugzeug vor allen anderen landen darf. Nach der Landung müssen die Passagiere so schnell wie möglich aus der Gefahrenzone gebracht werden, meistens geschieht das über die Notrutsche. Doch auch ein Brand an Bord ist äußerst selten. So registrierte die Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) Störungen und Unfälle bei deutschen Fluggesellschaften oder ausländischen Airlines in Deutschland in den letzten 10 Jahren nur einen Flugzeugbrand, bei dem es auch Verletzte gab.

Handy an Bord

Mit dem eigenen Handy im Flugzeug telefonieren? Was heute noch streng verboten ist – gemäß der Luftfahrt-Elektronik-Betriebs-Verordnung (kurz LuftEBV) –, kann in einigen Jahren schon Wirklichkeit sein: nervendes Klingeln auch während des Fluges. Dabei ist die Gefahr von Handys im Flugzeug zwar theoretisch erklärbar – aber ein direkter Zusammenhang mit Mobiltelefonen ist nur schwer beweisbar. Verständlich, dass die Flugunternehmen lieber auf Nummer sicher gehen und die Handy-Nutzung untersagen.

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) hat 2002 ein Forschungsprojekt gestartet. Das Ziel: Ein Airbus A340 wird mit einem UMTS-Netz für private Telefonnutzung und W-LAN für Internetzugang ausgestattet.

Sicherheit in Zahlen

Viele Menschen haben Flugangst, Angst abzustürzen. Wirft man aber einen nüchternen Blick auf die Statistiken, ist diese Angst unbegründet. Bezogen auf die Strecke ist das Auto das gefährlichste Verkehrsmittel. Das Unfallrisiko bei Bahn und Flugzeug ist dagegen schon fast zu vernachlässigen. Ein anderes Bild zeigt sich jedoch, wenn man nicht die Reisedecke, sondern die Reisezeit zur Grundlage der Erhebung macht. Auch hier ist das Auto unangefochten das gefährlichste Transportmittel. Flugzeuge schneiden aber, bezogen auf die Reisezeit, schlechter ab als die Bahn. Ganz konkret bedeutet dies: Eine einstündige Anreise mit dem Auto zum Flughafen ist genauso (un)gefährlich wie ein eineinhalbstündiger Flug – beispielsweise von Köln/Bonn nach Mailand.

Axel Bach und Tanja Winkler

Die durstigen Flieger

141.000 Liter - so viel Kerosin fassen die sechs Tanks eines Airbus A340-200. Eine Boeing 747-400 kann sogar mit bis zu 216.000 Liter Kerosin betankt werden - riesige Mengen im Vergleich zu einem Autotank. Aber lassen sich die unterschiedlichen Verkehrsmittel überhaupt vernünftig miteinander vergleichen? Wie viel Liter verbraucht ein Auto, ein Flugzeug oder die Bahn?

In den Medien schwirren viele Zahlen herum, die vor allen Dingen eins zeigen: Je nach Quelle unterscheiden sie sich erheblich. In der Studie "Die Umweltbilanz des Verkehrs" hat das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) den Energieaufwand für unterschiedliche Verkehrsmittel berechnet.

| Verkehrsmittel | benötigte Energie in Megajoule pro Personenkilometer | Liter Benzinäquivalent für 100 km |
|------------------------------|--|-----------------------------------|
| Pkw | 2,26 | 7,1 |
| Bahn | 1,43 | 4,5 |
| Flugzeug innerdeutsch | 3,18 | 9,9 |



Für Hin- und Rückfahrt von Bonn nach Berlin benötigt man diese Mengen an Benzin

Ein konkretes Beispiel zeigt genauer, wo die Unterschiede liegen. Eine Hin- und Rückreise von Bonn nach Berlin erstreckt sich über ungefähr 1000 Kilometer. Bei einer Fahrt mit dem PKW benötigt man dafür etwa 71 Liter des Benzinäquivalents pro Passagier. Der Zug würde dafür etwa 45 Liter verbrauchen. Und im Nahstreckenflug werden bis zu 99 Liter pro Passagier fällig.

Eins darf man bei solchen Berechnungen natürlich nicht vergessen: Mit dem reinen Energieverbrauch vernachlässigt man viele Aspekte, die bei näherer Betrachtung ebenfalls eine wichtige Rolle spielen. Darunter fallen zum Beispiel Lärmbelastung, eventuelle Klimaveränderungen oder Flächenverbrauch. Man spricht hier von so genannten externen Kosten.

Eine Studie zu diesen externen Kosten des Verkehrs, an der die Universität Karlsruhe beteiligt war, hat folgende Kosten pro Tausend Personenkilometer berechnet (unberücksichtigt sind dabei Staus):

PKW: 87 Euro, Flugzeug: 48 Euro, Bahn: 20 Euro.

Soviel müssten die Tickets Bonn-Berlin-Bonn eigentlich teurer werden, wenn man die gesamten Umweltbelastungen berücksichtigen würde. (Quelle: INFRAS/IWW-Studie, 2000: Die externen Kosten des Verkehrs)

Es lohnt sich also auch unter diesen Aspekten, öfter mal Bahn zu fahren.

Axel Bach

Wie den Menschen Flügel wuchsen- die Geschichte der Passagierluftfahrt

Wie alles begann



Die Aerolloyd war eine der ersten beiden deutschen Fluggesellschaften

Als sich die Gebrüder Wright 1903 am Strand von Kitty Hawk zum ersten Mal in die Lüfte erhoben, dachte noch niemand ernsthaft daran mit einem Flugzeug Passagiere zu befördern. Die Piloten der frühen Jahre waren froh, wenn sie nach relativ kurzen Entfernungen wieder heil auf die Erde kamen. Ihre Motoren waren schwach, die Konstruktionen aus Holz und Draht zerbrechlich.

Der erste Weltkrieg gab der Luftfahrt einen technischen Schub. Jetzt brauchte man Flugzeuge, die eine Funktion erfüllten: Kundschafter, Bomber und Jagdflugzeuge. Innerhalb weniger Jahre wurden Flugzeuge zu robusten Transportmitteln. Nach dem Krieg nutzte man die Kriegsflugzeuge für zivile Zwecke. In den USA entstanden zahlreiche Fluglinien, die vor allem der Beförderung von Luftpost dienten. Wer wagemutig und leidensfähig genug war, konnte sich als Passagier zu den Postsäcken gesellen.

Auch in Deutschland entstanden erste Fluglinien. In den 20er Jahren belebte sich das Geschäft. Die geringe Kapazität der Flugzeuge erforderte vor dem Einsteigen allerdings noch ungewöhnliche Prozeduren: Die Passagiere mussten sich zusammen mit ihrem Gepäck wiegen lassen. Die Flüge selbst waren laut, kalt und durch die Vibrationen der Motoren äußerst unbequem.

Fliegen in den dreißiger Jahren



Eine "Ju 52" der "Deutsche Lufthansa Berlin-Stiftung"

Auch wenn die frühen dreißiger Jahre noch im Zeichen der Transportflugzeuge standen, so hob sich doch der Komfort der Passagiere ein wenig. In vielen Maschinen gab es statt der bis dahin oft üblichen Korbessel richtige Ledersitze und Bordservice – ausschließlich von männlichen Stewards. Eines der bekanntesten Flugzeuge war zu jener Zeit die Junkers Ju52.

Ein Meilenstein in der Geschichte der Passagierluftfahrt war die amerikanische DC3 – das Flugzeug mit dem größten Komfort in dieser Zeit. Ende 1935 in Dienst gestellt, leistete Sie mit einer Kapazität von 32 Passagieren und einer Reichweite von 2400 Kilometern mehr als jedes andere Flugzeug. Um ihre potentiellen Kunden restlos von der Sicherheit der Flugzeuge zu überzeugen und ihnen die Flugangst zu nehmen, kam die amerikanische United Airlines auf die Idee, die Betreuung der Fluggäste in die Hände von Krankenschwestern zu legen. Die Neuerung fand großen Anklang und der Beruf der Stewardess war geboren.

Vom Luxus zum Massentourismus



Die Lockheed Super-Constellation

Nach dem Krieg profitierten die Fluglinien wiederum von den technischen Entwicklungen des Krieges. Die Lockheed Super-Constellation war ein glamouröses Flugzeug, mit dem die Reichen und Schönen – der "Prop Set" – durch die Welt tingelten. Noch immer dominierten die Propellermaschinen den Himmel. Die Exklusivität des Fliegens begann in den 60er Jahren zu schwinden. Auch für den Durchschnittsbürger wurde das Fliegen erschwinglich. Schon damals zählte Mallorca zu den beliebtesten Reisezielen des beginnenden Massentourismus.

Mit Düsenantrieb in ein neues Zeitalter

1952 brach das Jet-Zeitalter an. Die British Overseas Airways stellte die Comet I in Dienst – das erste Passagierflugzeug der Welt mit Düsenantrieb. Ungeklärte Unfälle bedeuteten das Ende für die Comet I das Genick. Sie musste für einige Zeit aus dem Verkehr gezogen und grundlegend überarbeitet werden.



Die Concorde beim Start

Damit war der Weg frei für die Boeing 707. Sie war doppelt so schnell und konnte bis zu 200 Passagiere in rund zehn Stunden von New York nach Hamburg fliegen. Außerdem war das vibrationsarme, ruhige Fliegen eine völlig neue Erfahrung für die Reisenden.

In der gesamten Geschichte der Passagierluftfahrt galt bis in die 70er Jahre die Devise "schneller und größer ist erfolgreicher." Der Endpunkt dieser Entwicklung war die Concorde – ein Überschallflugzeug. 1975 wurde sie bei Air France und British Airways in Dienst gestellt. Doch der große Energiebedarf, der Lärm und die begrenzten Passagierzahlen verhinderten den wirtschaftlichen Erfolg der Concorde. Am 24. Oktober 2003 erhob sich die Concorde zum letzten Mal in die Luft.

Mit dem Jumbo-Jet – der Boeing 747 – und seinen europäischen Konkurrenten der Marke Airbus fliegen heute Millionen Menschen kreuz und quer über den Globus. Der Segen der preisgünstigen Geschwindigkeit wird dabei immer öfter zum Fluch: Aus dem "größer, schneller, weiter" ist heute immer öfter eine Entschleunigung geworden: das Warten auf den verspäteten Flieger.

Daniel Münter

Vorbild Vogel

Ein Menschheitstraum

Fliegen wie ein Vogel – ein uralter Traum der Menschheit. Die berühmte griechische Sage von Ikarus zeigt, wie lange die Menschen schon vom Fliegen träumen. Ikarus, der mit seinem Vater Dädalus (oder Daidalos) aus der Gefangenschaft von der Insel Kreta fliehen will, kommt mit seinen aus Wachs und Federn gebauten Flügeln der Sonne zu nah. Das Wachs, das die Federn zusammen hält, schmilzt und Ikarus verunglückt tödlich.



Otto Lilienthal konstruierte seine Gleiter nach dem Vorbild der gewölbten Vogelflügel

Weitaus wissenschaftlicher befasste sich Universalgenie Leonardo da Vinci mit dem Fliegen. Er beobachtete Fledermäuse und Vögel und entwarf kühne Konstruktionen, mit denen er den Luftraum erobern wollte. Zu den großen Flugtüftlern der Geschichte gehört auch Otto Lilienthal. Schon von Kindesbeinen an war er vom Wunsch besessen zu fliegen. Auch er studierte den Vogelflug, schrieb sein Buch "Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst" und entwarf mehrere Flugapparate, mit denen er sich in die Lüfte erheben wollte. Und es gelang ihm tatsächlich: Mit seinen selbst gebauten Gleitern konnte er mehrere 100 Meter segeln. Doch seine Flugversuche nahmen ein tragisches Ende. Bei seinem letzten Flug am 9. August 1896 verunglückte er tödlich.

In der Luft zu Hause



Die gespreizten Flügelspitzen sparen Energie

Vögel sind perfekt an ein Leben in luftigen Höhen angepasst. Der Kolibri zum Beispiel kann seine Flügel so schlagen, dass er sowohl beim Abschlag als auch beim Aufschlag Auftrieb erzeugt. So kann er in der Luft auf der Stelle stehen und den Nektar aus den Blüten trinken. Große Landsegler wie die Störche haben an ihren Flügelspitzen Federn, die sich beim Flug automatisch spreizen. Das führt zu einem geringeren Widerstand und spart so Energie.

Abgeguckt



Die neue Form der Tragflächenspitzen sparen Treibstoff

Das Prinzip der gespreizten Vogelflügel ist auch für die Menschen nützlich. Die Beobachtungen wurden in Forschungsprojekten weiterverfolgt und inzwischen haben viele Passagierflugzeuge so genannte Winglets. An normalen Tragflächen bilden sich die so genannten Randwirbel, die bremsend wirken und dadurch Treibstoff kosten. Die Winglets führen dazu, dass sich kleinere Wirbel bilden als bei normalen Tragflächen. Das spart zwischen 3 und 5% Treibstoff.



Vögel – wie zum Beispiel der Spatz – passen ihre Flügelkonfiguration an die jeweilige Situation an

Bewegte Flügel

Trotz aller Fortschritte bei der Nachahmung der Vögel: Der wichtigste Unterschied zwischen Vorbild und Technik besteht zwischen den Vogelflügeln selbst und den Tragflächen der Flugzeuge. Die Vogelflügel sind in sich verdrehbar und enorm elastisch. So können Vögel auf jede Luftveränderung passend reagieren und fliegen sicher und ökonomisch. Vor allem aber ihre beweglichen Hinterkanten haben es den Forschern angetan.

Bewegte Tragfläche

Mehrere Forschungsprojekte haben sich mit dem so genannten adaptiven Flügel befasst. Die starren Klappen, die bei Start, Landung oder zum Bremsen ausgefahren werden, sollen dabei durch eine bewegliche Hinterkante ersetzt werden. Bei einem Modell, dem so genannten Fingermodell, sind unter einer flexiblen Kohlefaserhaut mehrere Finger, die die Hinterkante auf den Millimeter genau verstellen können. Dadurch soll eine bessere Anpassung an verschiedene Luftverhältnisse, beispielsweise bei Windböen oder bei Start und Landung, gewährleistet werden. Durch verbesserte Strömungseigenschaften würde ein Flugzeug dadurch sicherer und sparsamer fliegen. Bis jetzt existiert eine solche Tragfläche nur im Modell. Die Pläne der Forscher gehen aber noch weiter. Die Tragflächen der Zukunft sollen noch vogelähnlicher sein: Sensoren in den Tragflächen könnten die jeweiligen Luftverhältnisse einem Zentralcomputer melden, der dann die Tragflächen einstellt. Aber nicht nur das: Die Tragflächen sollen so flexibel sein, dass sie sich zum Beispiel bei einer Windböe von selbst verbiegen. Sie wären dann sowohl aktiv als auch passiv verbiegbare – wie ein Vogelflügel eben.

Tanja Winkler

Die Zukunft des Fliegens

Flugverkehr 2020



Die meisten Flughäfen in Deutschland sind schon lange an ihrer Kapazitätsgrenze

Jeden Tag starten und landen etwa 8000 Flugzeuge auf Deutschlands Flughäfen – fast ein Viertel davon, etwa 1400, sind es allein in Frankfurt am Main. Im Jahr 2003 zählt man in Deutschland über 2,5 Millionen so genannte Flugbewegungen: Starts, Landungen und Überflüge. Und der Flugverkehr boomt weiter: Selbst vorsichtige Prognosen gehen von einem jährlichen Wachstum von 3,5% bis 5% aus. Bis zum Jahr 2020 soll sich der Passagier-Flugverkehr mindestens verdoppeln, wenn nicht sogar verdreifachen. Doch viele europäische Flughäfen können damit nicht Schritt halten, sie sind schon längst an die Grenzen ihrer Kapazitäten gestoßen. Da ist guter Rat teuer ...

Kapazitätsproblem

Viele Flughäfen können schlichtweg nicht erweitert werden. Die Folge sind Staus am Himmel, Vergeudung von Kerosin in Warteschleifen, Lärm- und Umweltbelastungen. Hinzu kommt, dass geplante Flughafenerweiterungen in nahezu jedem Fall Gegner auf den Plan rufen, die einen Ausbau zu verhindern suchen. Niemand möchte einen Flughafen vor der eigenen Haustür haben, doch viele schätzen den günstigen Flug ins warme Urlaubsland – ein unlösbares Dilemma also?

Größere Flugzeuge?



Airbus A 380

Eine durchaus machbare Möglichkeit, dem drohenden "Fluginfarkt" zu entgehen, könnte der Bau größerer Flugzeuge sein. Die Firma Airbus zum Beispiel plant mit dem A380 das bislang größte Passagierflugzeug der Welt. Und der Flieger soll noch mehr Superlative bieten: geräumiger, leiser und sparsamer als alle bisher gebauten Flugzeuge. Derzeit konstruieren die Airbus-Techniker einen Prototypen, der die gemachten Versprechen bis zum Jahr 2005 einlösen soll. Doch derart große Flugzeuge werfen ein neues Problem auf: Sie produzieren viel längere Wirbelschleppen, die eine sichere Landung nachfolgender Flugzeuge um mehrere Minuten verzögern können.

Bessere Planung?



Die Zukunft wird am Forschungsflughafen (DLR) in Braunschweig schon heute simuliert

Am Forschungsflughafen des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Braunschweig testen Wissenschaftler, wie in Zukunft eine bessere Ausnutzung der Start- und Landebahnen für Entlastung und mehr Pünktlichkeit sorgen kann. Erstaunlicherweise sind Flugzeuge nämlich fast nie pünktlich. Je nach Wetter und vor allem abhängig vom Wind erreichen sie ihre Ziele mal zu früh und mal zu spät. Für Fluglotsen werden unpünktliche Flugzeuge allerdings in jedem Fall zum Problem. Denn die Lotsen müssen nicht nur für eine freie Landebahn sorgen, sondern aus Sicherheitsgründen auch auf ausreichend große Zeitabstände zwischen den einzelnen Maschinen achten. Bisher durften die Flugzeuge in der Reihenfolge landen, in der sie am Zielflughafen ankamen – doch in Zukunft soll derjenige zuerst landen dürfen, der auch pünktlich ist.

In Zukunft



Durch bessere Ausnutzung sollen mehr Flugzeuge landen können

Die Arbeit der Fluglotsen soll durch ein neues Computersystem einfacher werden. Schon beim Start errechnet der neuartige Bordcomputer eine mögliche Route – inklusive aller relevanten Wind- und Wetterdaten. Wichtig dabei: Der Computer errechnet eine bis auf 10 Sekunden genaue Ankunftszeit und sendet diese Daten an den Zielort – z. B. Frankfurt. Dort überprüft ein Computer am Boden, ob die Strecke "konfliktfrei" ist, sich also keine Flugzeuge gegenseitig in die Quere kommen. Der Bodencomputer gibt die Strecke frei. Entscheidend dabei ist, dass diese Routenplanung dann auch wirklich sekundengenau eingehalten wird. Selbst bei Rückenwind fliegt das Flugzeug nicht schneller als geplant. In Zukunft weiß der Lotse also schon lange im Voraus, in welcher Reihenfolge die Flugzeuge ankommen werden. Das bedeutet, durch derart langfristige Planungen werden die vorhandenen Landebahnen effektiver genutzt.

Kaum verändert: Fliegen der Zukunft

Fliegen ist ein konservatives Geschäft: Die Boing 747 fliegt seit 1969 nahezu unverändert und – erfolgreich. In der Auto- oder Computerbranche wäre so etwas unvorstellbar. Doch beim Fliegen gilt "Safety first". Außerdem sind die Entwicklungskosten für neue Flugzeugtypen immens hoch und viele Projekte, wie zum Beispiel das von Boing geplante Großraumflugzeug "Sonic Cruiser", werden schon in der Anfangsphase wieder eingestellt. Aus diesen Gründen werden sich die Flugzeuge im Jahr 2020 vermutlich nicht sehr von den heutigen Modellen unterscheiden. Wirklich innovative Technik wird es wahrscheinlich eher bei Flugzeugen ohne Passagiere geben.

Helios – der Sonne entgegen!



innovativ: Ein Propellerflugzeug der Superlative. Für nur einen Bruchteil der Kosten kann Helios z.B. die Aufgaben eines Satelliten übernehmen

Am 13. August 2001 stellt das unbemannte Flugzeug Helios mit 29.511 Metern einen neuen Höhenrekord auf. So hoch kamen bisher nur Flugobjekte mit Raketenantrieb. Das von umweltfreundlicher Solarenergie angetriebene Flugzeug bringt es auf immerhin 32 km/h. Doch das eigentlich Besondere an Helios ist seine Form: Es besteht nämlich aus nur einem Flügel, ist also ein so genannter "Nurflügler". Dieser ist mit 75 m Länge allerdings größer als der Flügel eines Jumbos. 62.000 Solarzellen auf der Oberfläche des Flügels liefern den Strom für die kleinen Motoren. Damit Helios auch in der Nacht fliegen kann, wird mit Hilfe überschüssigen Solarstroms in einem Elektrolysegerät Wasser in seine elementaren Bestandteile, nämlich Wasserstoff und Sauerstoff, zerlegt und in einem Druckbehälter eingelagert. In der Nacht wird beides in Brennstoffzellen wieder vermischt und daraus Elektrizität erzeugt. Das reicht für die Bordelektronik und die 10 Elektromotoren. Die brauchen nämlich nicht mehr Strom als ein Haarföhn. Die möglichen Einsatzbereiche von Helios sind vielseitig. So könnte Helios schon bald Telekommunikations- und Wettersatelliten ersetzen, als Aufklärungsflugzeug fungieren oder dabei helfen, die Marsoberfläche zu erkunden. Momentan befindet Helios sich allerdings noch in der Testphase.

Corinna Sachs

Lesetipps

Was ist was?

In diesem Band der beliebten Reihe steht alles drin, was der kleine Flugzeug-Fan wissen muss!

Band 10: Fliegerei und Luftfahrt

Autor: Rudolf Braunburg

Verlag: Tessloff 1993

ISBN 3788602503

Sonstiges: Preis: 8,90 Eur

Meilensteine der Luftfahrt - Von den Gebrüdern Wright bis zur Stealth-Technologie

Das Buch berichtet unterhaltsam die Geschichte der Luftfahrt. Von den Anfängen bis zu den modernen Großraumflugzeugen.

Autor: Mike Spick

Verlag: Stocker-Schmid 1996

ISBN: 3727671246

Sonstiges: 144 gebundene Seiten, 80 farbig und 120 schw. - w. Abb.; Preis: 16,00 Eur / 26,00 sFr

"Flugmaschinen"

Dieses Buch ist in der Reihe "Sehen Staunen Wissen" erschienen und eignet sich als Bilderbuch für die ganze Familie. Der Inhalt ist eine farbenprächtige Reise durch die Geschichte der Fliegerei. In sehr einfachen Worten erklärt der Begleittext auch die Technik der Flugmaschinen - und man kann zum Beispiel einen Blick in die ominöse "black box" werfen. Und das ganz ohne physikalische Vorkenntnisse.

Autor: Andrew Nahum

Verlag: Gerstenberg Verlag

ISBN 3806744211

Sonstiges: 64 Seiten, zahlreiche, farbige Abbildungen, Preis ca. 12,90 Eur

Fliegen – die Geschichte der Luftfahrt

Von den ersten Flugpionieren bis zur modernen Space Station. Umfangreiches Bildmaterial zu über 300 Flugzeugtypen bietet einen schönen Einblick in die Luftfahrtgeschichte.

Autor: R.G. Grant

Verlag: Dorling Kindersley Verlag

ISBN: 3831004749

Sonstiges: 440 Seiten gebunden, über 1500 Fotos und 100 Illustrationen, Preis 49,90 Eur

"Concorde: Geschichte – Technik-Triumph und Tragödie"

Ein echtes Grundlagenwerk. Viele Fotos, sehr detaillierte Ausführungen zur Historie und Technik der Concorde, aber auch zu den Konkurrenzprojekten der Russen und Amerikaner.

Autor: Hans J. Becker

Verlag: Motorbuch /KNO2002

ISBN: 3613022508

Sonstiges: ca. 144 gebundene Seiten, ca. 110 Abbildung(en) - 23 _ 26,5 cm; Preis: 19,90 Eur [D] / 20,50 Eur [A] / 33,60 sFr



Linktipps

Museen und Ausstellungen

Der Ausstellungsbereich Luft- und Raumfahrt des Deutschen Museums in München – dort gibt es zur Zeit auch eine Sonderausstellung zu 100 Jahre Motorflug

<http://www.deutsches-museum.de/ausstell/dauer/luft/luftf.htm>

Webseite des Otto-Lilienthal-Museums in Anklam

<http://home.t-online.de/home/LilienthalMuseum/home.htm>

Die Webseite zur Lebensgeschichte der Gebrüder Wright (auf englisch) des Smithsonian National Air and Space Museums. <http://www.nasm.si.edu/wrightbrothers/>

Geschichte der Luftfahrt

Eine unterhaltsame Seite zur Geschichte der Luftfahrt – eigentlich für Kinder

<http://www.blinde-kuh.de/flugzeuge/>

Schöne Zusammenstellung der Geschichte der zivilen Passagierluftfahrt und deren Flugzeugtypen <http://www.sphynx.de/zivile-luftfahrt.html>

Knappe aber übersichtliche Zusammenfassung zur Geschichte des Fliegens

<http://land.heim.at/waldviertel/240628/fliegerei.htm>

Geschichte der Lufthansa

http://213.198.75.194/de/html/ueber_uns/geschichte/

Geschichtssite des Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie e.V. (BDLI)

http://www.bdli.de/geschichte/zivile_luftfahrt/anzeigezukat.cfm?id_nr=22&kat_d=D%FCsenflieger&start=1

Auftrieb

Homepage des DLR Wissenschaftlers Dr. Wolfgang Send. Gute wenn auch etwas komplexe Darstellung der Physik des Auftriebs und des Schwingenflugs.

<http://www.aniprop.de/>

Sehr klar strukturierte und übersichtliche Site der Multimediaprojekts "Warum?"

http://www.wissen.swr.de/warum/fliegen/themenseiten/t_index/s1.html

Hervorragende Onlineversion des Buches "See how it flies" von John S. Denker.

Leider nur auf englisch <http://www.av8n.com/how/>

Vereisung

Hompagne des Zentrums für Vereisungsforschung der NASA
<http://icebox-esn.grc.nasa.gov/>

Informationen zur Enteisung auf dem Flughafen Frankfurt
<http://www.nice-services.aero/139.htm>

Artikel der Online-Zeitschrift "Morgenwelt" zum Thema
<http://www.morgenwelt.de/wissenschaft/000117-flugzeug.htm>

Internationales meteorologisches Forschungsprojekt zur Entstehung von Vereisungsbedingungen
<http://www.airs-icing.org/>

Größter europäischer Eistunnel in Italien
http://www.cira.it/mezzidiprova/Moo2_eng.htm

Fliegen lernen

Fliegen lernen – was man wissen muss:
<http://www.flugschule.de/fragen.htm>

Deutscher Aero Club e.V.:
<http://www.daec.de/index.php>

Flight Training Cologne, Flugschule, bei der Ursula Heller ihre 1. Flugstunde absolvierte:
<http://www.ft-cgn.de/>

Kölner Klub für Luftsport e.V. – Fliegen lernen im Verein:
<http://www.kkfl.de/>

Wie sicher ist Fliegen?

Die Definitionen von Unfällen und Störungen auf einer Seite der Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung
<http://www.bfu-web.de/orgbfu.htm#unfall>

Eine Statistik über Flugzeugunfälle – von einem Luftfahrtmagazin
<http://www.aerointernational.de/index.php?http://cm.jahr-tsv.de/aero-intern/internet/links/ausbildung/ausbildung01.php>

Eine Seite des Luftfahrtbundesamtes über das Handy-Verbot im Flugzeug
<http://www.lba.de/deutsch/oeffentlich/passinfo/handys.htm>



Homepage des European Transport Safety Councils (englisch)
Zahlenmaterial zur Sicherheit in den verschiedenen Verkehrszweigen
<http://www.etsc.be/>

WirelessCabin (englisch): Mobilfunk und Computernutzung im Flugzeug – ein
Forschungsprojekt unter Federführung des DLR
<http://www.wirelesscabin.com/>

Vorbild Vogel

Das Kapitel "Vorbild Vogel" aus dem Buch von Otto Lilienthal
<http://www.lilienthal-museum.de/olma/dokvo38.htm>

Eine niedliche Animation der Uni Frankfurt über den Flug der Kolibris
<http://www.uni-frankfurt.de/fb15/didaktik/Ritterstern/Koliflug.htm>

Vom Bundesamt für Naturschutz: Hier wird jedes Jahr der Zug der Störche ausgewertet und die Ergebnisse in einer Landkarte eingetragen.
<http://www.naturdetektive.de/2003/dyn/1407.htm>

Die Seite der DLR zum adaptiven Flügel
<http://www.sm.bs.dlr.de/adaptronik/ADIF.htm>

Zukunft der Luftfahrt

Informationen zum Forschungsflughafen und zu den Projekten des DLR
bekommt man unter <http://www.forschungsflughafen.de/> und <http://www.dlr.de/>

Wer alles über die technischen Daten der Flugzeuge wissen will, ist hier richtig:
<http://www.airliners.de/wissen/lexikon/aircraft/index.html>

Mehr Informationen zu Nurflüglern findet man in diesem Artikel:
<http://www.heise.de/tp/deutsch/inhalt/co/2531/1.html>

NASA Seite auf englisch; Überblick zu innovativen Flugobjekten:
http://avst.larc.nasa.gov/university_uav.html

Hier sind auf englisch alle Testflüge des Helios mit tollen Fotos zu finden. Allerdings sind die Seiten nicht besonders übersichtlich
<http://www.dfrc.nasa.gov/gallery/photo/Helios/>

Impressum:

**Herausgegeben
vom Westdeutschen Rundfunk Köln**

**Verantwortlich:
Quarks & Co
Claudia Heiss**

**Autoren:
Axel Bach
Alexandra Hostert
Daniel Münter
Corinna Sachs
Tanja Winkler**

**Redaktion:
Claudia Heiss**

**Gestaltung:
Designbureau Kremer & Mahler**

**Bildrechte:
Alle: © WDR**

Außer:
Kapitel 1; Bild 1-2, 6: Wright University EDU, US
Bild 3: NARA (US National Archives and NASA)
Bild 4: Corinna Sachs
Bild 7: NASA
Kapitel 2; Bild 1-2: John S. Denker
Kapitel 3; Bild 1-2: N* ICE Aircraft Services & Support GmbH
Kapitel 6; Bild 1-3: Lufthansa
Bild 4: Air France
Kapitel 7; Bild 1-4: dpa
Bild 5: DLR
Kapitel 8; Bild 4: Anja Galonska
Bild 5: NASA

© WDR 2003