

Aerodynamik

--

Bionik im Flugzeugbau



schriftliche Ausarbeitung zum Referat vom 10. 11. 2005,
gehalten in der Vorlesung
„Bionik - Ökologische Technik nach dem Vorbild der Natur?“
Prof. von Gleich, Universität Bremen
VAK 04-6100101

Dirk Werthmann
1814731
werthmann_dirk@gmx.de

Boris Kuhlmann
1814731
boris.kuhlmann@web.de

Inhaltsverzeichnis:

	<u>Seite</u>
Inhaltsverzeichnis	2
Vorwort	3
Geschichte	4
Lilienthal	6
Etrich	8
Beispiele der Umsetzung	10
Haifischhaut – Riblettechnik	10
Flügelspitzen – Winglets	11
Rückstromklappentechnik	14
Formationsflug	15
Adaptiver Flügel	16
Resumée	19

Vorwort:

Bionik ist ein Begriff, der einem in jeder Lebenssituation sehr häufig ins Auge fällt. Dies mag darin begründet sein, dass Begriffe wie Bio-... schnell das Interesse der Menschen erhalten und diese sich so für die Werbung eignen. Der Grund liegt wahrscheinlich darin begründet, dass das Schlagwort „Bio“ eines der Modewörter unserer Zeit ist. Dies versuchen sich viele Unternehmen zu Nutze zu machen und werben mit ihrem „grünen Daumen“. Dass man unter Bionik viel mehr versteht als nur Naturschutz, dass entgeht vielen bei dieser beschränkten Betrachtung.

Mit Beginn unserer Arbeit und nach einer vertieften Einarbeitung in das große Feld der Bionik, wurde uns schnell bewusst, wie eingeschränkt die zur Verfügung stehenden Informationen zu diesem Thema und insbesondere im Flugzeugbau sind. Dies führten wir auf die relativ geringen Anwendungs- und Übertragungsmöglichkeiten in diesem Bereich zurück. Nach Sichtung der ersten gefundenen Literatur wurde uns bewusst, dass wir uns letztendlich weniger mit der Grundlagenforschung, wie sie zum Beispiel Herr Prof. Hummel oder Herr Prof. Nachtigall betrieben haben, auseinandersetzen wollten und unseren Fokus vielmehr auf zukünftige oder bereits erfolgte Anwendungen in der Luftfahrt legen wollten.

Insbesondere der Kontakt zu Herrn Rolf Henke von Airbus half uns dabei unsere Vorstellungen von einem Referat in diesem Bereich zu verwirklichen. In Telefonaten und bei einem Treffen berichtete er uns sehr ausführlich über Anwendungen der Bionik in der Luftfahrt, insbesondere bei Airbus und im Awiator-Projekt. Er vermittelte uns neue Einsichten, wie Ingenieure in der Praxis mit dem Thema Bionik umgehen und welchen Nutzen sie daraus ziehen. An dieser Stelle möchten wir uns nochmals sehr herzlich bei Herrn Rolf Henke für die geopfertete Zeit und die reichhaltige Ausstattung mit Informationen bedanken!

Geschichte:

Bevor wir näher auf die Bionik eingehen, möchten wir einen kurzen subjektiven Überblick über die Geschichte der Luftfahrt geben. Wir wollen hierbei einige Höhepunkte in der Luftfahrtgeschichte der Menschheit aufzeigen.



Abbildung 1: Ikarus und Dädalus

Bereits lange vor Christus beschäftigte sich der menschliche Geist mit dem Thema Luftfahrt. Eine der bekanntesten Sagen in diesem Zusammenhang ist die Sage von Dädalus und Ikarus, welche um 750 v. Chr. entstand. Bereits hier würde man heute von Bionik sprechen: Die beiden versuchten den Vogelflug zu imitieren. In China wurden etwa 220 v. Chr. Flächendrachen zur Entfernungsmessung verwendet. Zur bemannten Luftfahrt kam man um das 10. Jahrhundert, wobei dies weiterhin mit Hilfe eines Drachen geschah. Dabei bediente man sich im pazifischen Raum eines so genannten Fesseldrachsens. Lange Zeit wurde von verschiedenen Gelehrten an verbesserten oder neuen Methoden geforscht, um den Himmel zu erobern. Auch bekannte Größen wie Leonardo da Vinci entwarfen verschiedenste Flugmodelle, wobei diese zur damaligen Zeit noch nicht reif für eine Realisierung waren. Neuen Schwung brachten dann insbesondere die Gebrüder Montgolfier, die am 5. Juni 1783, ihren ersten unbemannten Heißluftballon steigen ließen. Kurze Zeit später, am 5. Oktober hoben die ersten Menschen an Bord eines Heißluftballons ab. Die Ziele lauteten darauf hin, „höher - schneller – weiter“ und man überbot sich innerhalb kürzester Zeit mit neuen Rekorden. Die ersten beiden Todesopfer waren am 15. Juni 1785 zu beklagen. 1799 skizzierte Sir George Cayley schließlich als erster ein Fluggerät, welches schwerer als Luft war. Somit war er es, der die Grundlage für die moderne Fliegerei erkannte, seine Ausführungen blieben jedoch unbeachtet. Es war die Zeit weiterer Versuche und Überlegungen auf diesem Gebiet gekommen. Die ersten richtigen Erfolge konnte jedoch erst Otto Lilienthal vorweisen. Die gemeinsamen Studien mit seinem Bruder Gustav führten schließlich im Jahre 1891 zu den ersten richtigen, wiederholbaren Flügen eines Menschen. Bei diesen Flügen erreichte er bis seinem Todesjahr 1896 Flugweiten von bis zu 250 Metern. Diese Gleitflüge führten schließlich im Jahre 1903 zum ersten Motorflug durch

die Gebrüder Wright. Parallel hierzu entwickelte Ferdinand Graf von Zeppelin seine Luftschiffe, welche jedoch ganz anderen physikalischen Prinzipien gehorchten. Ab diesem Zeitpunkt ging alles schneller in der weiteren Entwicklung, im Jahre 1909 fand zum ersten mal die

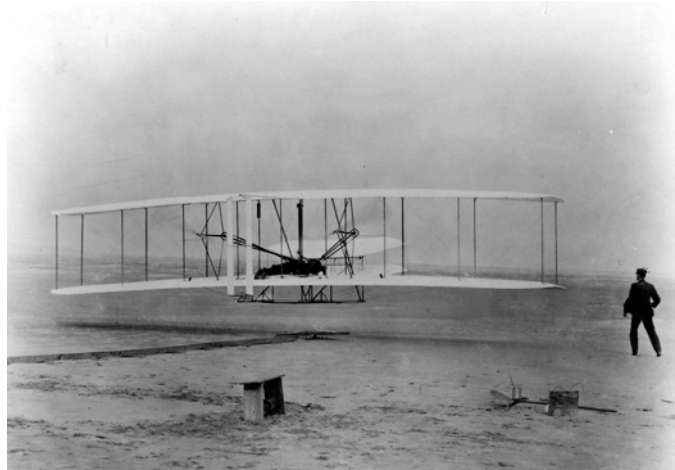


Abbildung 2 - Der erste Motorflug

Internationale Luftfahrtausstellung statt und im gleichen Jahr wurde

die erste Fluggesellschaft gegründet. Als Schattenseite des Flugzeugbaus konnte der nun folgende Einsatz von Flugzeugen im ersten Weltkrieg gesehen werden. Seit den Gebrüder Wright war man mit der Einstellung neuer Rekorde beschäftigt. In Deutschland wurde schließlich 1926 die Lufthansa gegründet. Voraussetzung hierfür war die Entwicklung von brauchbaren Verkehrsflugzeugen welche mit der Ilja Muromez begann.¹ Die Entwicklung verbesserter und größerer Verkehrsflugzeug zieht sich bis heute hin. Schon im Jahre 1939 wurden erste Strahltriebwerke bei Heinkel getestet. Darauf folgte acht Jahre später der erste Überschallflug. Die Entwicklung wurde schneller und schneller und man erreichte schließlich im Jahre 1961 den Welt- raum. Aus europäischer Sicht war der Erstflug des ersten Airbus im Jahre 1972 sehr interessant. Heute stehen wir schließlich kurz vor der Auslieferung des aktuell größ- ten Passagierflugzeuges durch Airbus an seine Kunden.

Mit diesem Abschnitt wollten wir nun die Grundlage für die nun folgenden Ausführun- gen schaffen. Insbesondere sollte deutlich werden, welche rasante Entwicklung die moderne Luftfahrt seit Lilienthal bis heute genommen hat.²³

¹ Vergleiche: <http://de.wikipedia.org/wiki/Verkehrsflugzeug>

² Vergleiche Abschnitt: URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_der_Luftfahrt (Stand: 14. Januar 2006)

³ Vergleiche Abschnitt: URL: <http://www.lilienthal-museum.de/olma/5.htm>

Lilienthal:



Da wir nun einmal den gesamten Verlauf der Luftfahrtsgeschichte überflogen haben, möchten wir im folgenden noch einmal explizit auf zwei Personen eingehen, welche ihre Erkenntnisse insbesondere aus der Natur abgeleitet haben und rückblickend somit als Bioniker bezeichnet werden können. Angefangen sei hier mit Otto Lilienthal, der von Kindheit an gemeinsam mit seinem Bruder vom Fliegen fasziniert war. Eine Hilfe zur Realisierung seiner Überlegungen war die Ausbildung Lilienthals: Nach dem Gymnasium

Abbildung 4: Otto Lilienthal besuchte er die Provinzial Gewerbeschule in Potsdam, an deren Anschluss er ein Maschinenbau Praktikum machte. Im folgenden studierte er die Ingenieurwissenschaften an der Königlichen Gewerbeakademie in Berlin. Dies legte die Grundlage für die erfolgreiche Gründung seiner Fabrik, welche ihm schließlich den finanziellen Rahmen für seine Forschungen bot. Zur Realisierung des Fliegens studierte er den Vogelflug, und hielt sich dafür sogar Störche im Garten. Diese Beobachtungen veröffentlichte er schließlich 1889 in seinem Buch „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst“. Aus diesem Buch stammt auch folgendes Zitat: "Die Beobachtung der Natur ist es, welche immer und immer wieder dem Gedanken Nahrung gibt: Es kann und darf die Fliegekunst nicht für ewig dem Menschen versagt sein."⁴ Dies zeigt, dass Lilienthal aus heutiger Sicht zu recht als früher Bioniker bezeichnet werden darf. Doch seine Forschungen richtete er nicht nur rein nach der Natur aus, er machte auch zahlreiche Experimente. In diesen Experimenten untersuchte er unter anderem den Auftrieb von verschiedenen Flächen.



Abbildung 3: Flug Lilienthals

⁴ Otto Lilienthal: Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst. Berlin 1889

Dabei kam er durch intuitives aber auch experimentelles Vorgehen, welches als Grundlage den Vogelflügel hatte, zur gewölbten Tragfläche. Zur Erprobung seiner Versuchmodelle setzte er unter anderem Rundlaufgeräte ein. Seine Experimente führten ihn schließlich zu verschiedenen Erkenntnissen, von welchen im Folgenden die Wichtigsten aufgezählt werden sollen. Er fand heraus, „dass die Arbeit zum Heben eines Körpers (z. B. eines Vogelkörpers) in ruhender Luft grundsätzlich verschieden ist von der Flugarbeit des Vogels“⁵ Des Weiteren stellte er die Vorteile der gewölbten Tragfläche experimentell dar. Er zerlegte die Luftkraft in ihre Komponenten und führte die Auswertung in das bis heute gebräuchliche Polardiagramm über. Die Grundlage für den erfolgreichen Flug im Jahre 1891 war die gewölbte Tragfläche. Mit seinem fledermausähnlichen Gleitern erzielte er anfängliche Weiten von etwa 25 Metern. Er probierte im Laufe der Jahre immer neue Apparate aus, auch mit Hilfe von Schlagflügelapparaten versuchte er ab dem Jahre 1893 seine Flugleistungen zu steigern. Als Erprobungsplätze dienten ihm verschiedene Hügel und Berge in der Umgebung Berlins, zu denen auch gerne Schaulustige kamen. Er errichtete sich sogar einen künstlichen Hügel bei Lichterfelde, von dem er bei nahezu jeder Windrichtung starten konnte. Ab dem Jahr produzierte er in kleiner Serie den ersten Serienflugapparat der Welt, den so genannten Normalsegelapparat. Durch seine Experimente und Veröffentlichungen kam er auch in den Genuss, verschiedenen angesehenen wissenschaftlichen Vereinigungen beitreten zu dürfen, welche sich mit dem Fliegen beschäftigten wie der Aeronautical Society of Great Britain. Er wurde auch Mitglied im Deutschen Verein zur Förderung der Luftschiff-Fahrt, welcher sich 1881 gegründet hatte. Ihr jähes Ende fanden die Experimente Lilienthals mit dem Absturz im August 1896, bei dem der erste Mensch, welcher erfolgreich wiederholbare Gleitflüge durchgeführt hatte ums Leben kam.⁶⁷

⁵ URL: <http://www.lilienthal-museum.de/olma/34.htm> (Stand: 14. Januar 2006)

⁶ <http://www.lilienthal-museum.de/olma/biog.htm>

⁷ Vergleiche: Werner Schwipps: Der Mensch fliegt. Lilienthals Flugversuche in historischen Aufnahmen. Koblenz 1988

Etrich:

Nachdem Lilienthal bei einem seiner Flugexperimente tödlich verunglückte, kauften im Jahre 1898 Ignaz und sein Sohn Ingo Etrich die beiden hinterlassenen Lilienthal-Flugzeuge. Nachdem sie einen Gleiter erfolglos entwickelt hatten fassten sie den Entschluss, „es sei notwendig, grundlegende Studien zu betreiben, um zu einem brauchbaren, sicheren Flugapparat zu kommen.“⁸ Begonnen wurden die Experimente mit der Beobachtung von Fledermäusen, was sie jedoch nicht zu ihrem gesteckten Ziel führte. Denn die Beiden wollten ein eigenstabiles Fluggerät entwickeln, so dass sie sich schließlich ihre Vorbilder bei den Früchten fanden. Hierzu wurde er durch die Bücher von Alborn angeregt. Für praktische Versuche und weitere Überlegungen

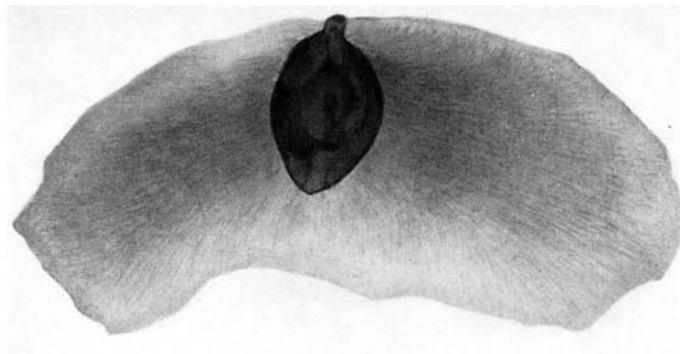


Abbildung 5: Zanonium - Frucht

bezog Ingo Etrich einige Zanonium-Früchte vom Botanischen Museum in Hamburg. Diese Früchte dienten ihm auch als Vorbild für seinen ersten erfolgreichen Gleiter. Dieser Gleiter war als Nurflügler ohne Stabilisierungsklappen konzipiert.

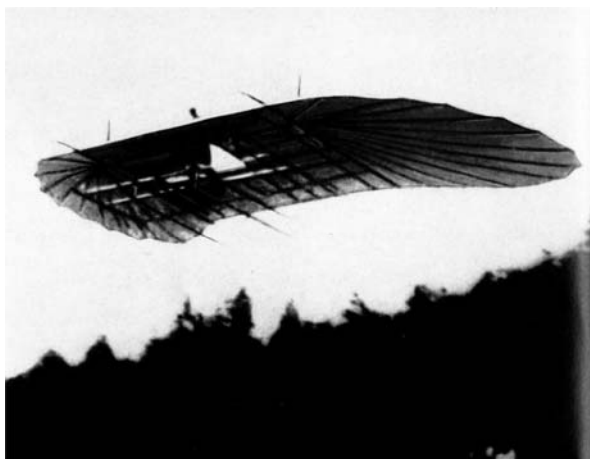


Abbildung 6: Etrich Gleiter

Im Jahre 1904 war der erste große Erfolg der Flug eines Gleiters dieser Sorte mit 25 kg Nutzlast. Daraus wurde schließlich ein Gleiter mit 70 kg Nutzlast entwickelt, welcher Flüge von einer Weite bis zu 300 Metern absolvieren konnte. Dasselbe Modell wurde im Jahre 1906 erstmals mit einem Menschen an Bord gestartet und

im Jahre 1909 mit einem 40 PS Motor versehen. Doch letztendlich kehrte Etrich wieder zur Vogelform zurück und entwickelte die Taube. Der Grund lag darin, dass die konstruierten Nurflügler ohne Stabilisierungsklappen Schwerpunktverlagerungen nicht vertrugen, doch Fluggeräte zur Beförderung von Nutzlasten nur schwer mit einem konstanten Schwerpunkt zu ver-

⁸ Hertel, S. 94

sehen waren. Die Untersuchungen mit den Früchten waren aber keinesfalls vergebens, denn sie waren Grundlage für Etrichs Erkenntnisse im Bezug auf die Stabilität, Steuerbarkeit und nicht zuletzt die Sicherheit. Die Sicherheit lag Etrich immer besonders am Herzen, so dass er möglichst viele Sicherheitsvorrichtungen von der Natur übernahm. Die Taube schließlich brachte es zu Überlandflügen mit bis zu 90 km/h und 45 Kilometern Reichweite.

Zusammenfassend kann bei Vater und Sohn Etrich von wahren Bionikern gesprochen werden. Denn ihr bewusstes Suchen in der Natur führte sie zum Erfolg ihrer Fluggeräte!

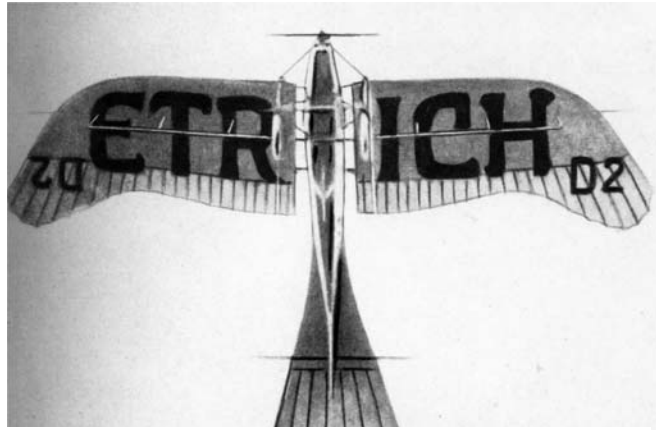


Abbildung 7: Etrich Taube

Beispiele der Umsetzung:

Haifischhaut – Riblettechnik⁹

Eine der bekanntesten bionischen Anwendungen ist neben dem Lotuseffekt die Haifischhaut. Beide haben eine ähnliche Funktionsweise mit jedoch sehr unterschiedlichen Zielsetzungen: Beim Lotuseffekt will man die Anhaftung von Schmutz auf einer Oberfläche durch eine sehr feine und dennoch raue Oberflächenstruktur erreichen. Bei der Haifischhaut, bzw. der Riblettechnik, versucht man ebenfalls durch eine sehr feine und raue Oberfläche die Luftverwirbelungen bzw. auch Wasserverwirbelungen an der Körperoberfläche zu minimieren. Die Luft- und Wasserverwirbelungen erzeugen bei der Bewegung des Körpers Kräfte, die den Vortrieb des Flugzeuges oder Schiffes abbremsen und den benötigten Energieaufwand erhöhen. Die im Flugzeugbau angewandte Technik stammt dabei aus Erkenntnissen, die im Wasser gemacht und bei Haien und Delphinen beobachtet wurden. Die bei Haien vorfindbare Struktur eignete sich am einfachsten zur Rekonstruktion. Es hat sich herausgestellt, dass je feiner und ausgeprägter die Struktur in Längsrichtung ist, desto schneller sich die entsprechende Haifischart im Allgemeinen bewegen kann. Dies führte zu der Überlegung, Flugzeuge und Schiffe mit diesen Verfahren auszustatten. Die grundlegenden Erkenntnisse der Riblettechnik stammen aus Forschungsergebnissen



Abbildung 8: Ribletfolie an A320 von 3M

nissen von Prof. Wolf-Ernst Reif¹⁰ von der Universität Tübingen und M. J. Walsh¹¹ vom National Aeronautics and Space Administration (NASA) Anfang und Ende der 70er Jahre. Erwähnenswert ist dabei, dass Reifs Forschungsergebnisse erst durch die Erkenntnisse von Walsh in seinem Umfeld anerkannt wurden und erst danach wurde ihm

eine verstärkte Forschung in diesem Bereich ermöglicht.

⁹ Vergleiche Vorlesung Bionik I im Winter 00/01 – „Reibungsminderung im Spiegel der Evolution“ – Ingo Rechenberg, TU Berlin – <http://www.bionik.tu-berlin.de/institut/skript/bibu8.pdf>

¹⁰ Kontakt unter <http://www.uni-tuebingen.de/geo/gpi/mitarbeiter/reif/>

¹¹ Kontakt und weitergehende Informationen unter <http://techreports.larc.nasa.gov/ltrs/PDF/2002/tm/NASA-2002-tm211769.pdf>, Smart Surfaces for Drag Reduction, S. 28

Die Riblettechnik hat sich in der Vergangenheit nicht durchgesetzt, da bei den Luftfahrtunternehmen die Befürchtung besteht, die Anschaffungskosten würden sich nicht tragen. Laut der Fachpresse wurden bis heute erst zwei Großraummaschinen getestet, ein Airbus A 320 und ein Airbus A 340 der Cathay Pacific Airways.

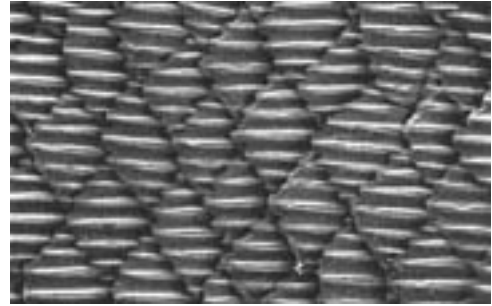


Abbildung 9: Haifischhaut

Letzterer wurde nur zu 30% mit der Riblet-Folie überzogen. Da sich die Verbrauchseinsparungen nur im Bereich von 1% bewegten wurden keine weiteren Maschinen mit der Technologie ausgerüstet. Bei dem Test-Airbus A 320 waren demgegenüber 3-6% Einsparung möglich, diese wurden jedoch nicht im Testbetrieb festgestellt. Wie vermuten, dass beide Maschinen in der genannten Form nicht mehr im Dienst stehen, da die Ribletfolie nach dem damaligen Stand der Technik(1996) alle 2 Jahre hätte getauscht werden müssen, es Probleme bei der Enteisung der Maschinen gab und die Wartungskosten verhältnismäßig groß waren. Für die Zukunft vermuten wir, dass sich die Riblettechnik erst bei einer starken Verteuerung der Kerosinpreise durchsetzen wird. Nach Aussagen von Forschern der Firma Airbus ist die Technik heutzutage serienreif und sofort einsetzbar, scheitert aber an dem nicht vorhandenen Interesse der Luftfahrtunternehmen.

Flügelspitzen – Winglets



NASA Dryden Flight Research Center Photo Collection
<http://www.dfrc.nasa.gov/gallery/photo/index.html>
 NASA Photo: EC79-11314 Date: 1979

KC-135A in flight - winglelet study

Abbildung 10: NASA KC-135A in flight - winglelet study

Seit Anfang des neuen Jahrtausends sieht man verstärkt bei Großraumflugzeugen Dreiecke am Ende der Tragflächen. Diese sogenannten Winglets haben das Ziel, Luftverwirbelungen am Ende der Tragflächen zu minimieren.

Diese Luftverwirbelungen führen aufgrund des entstehenden Widerstandes zu einer schlechteren Aerodynamik des

Flugzeuges. Die National Aeronautics

and Space Administration (NASA) experimentierte bereits in den 70er Jahren mit Winglets, die an die Außenseite von Flugzeugtragflächen montiert wurden.

Sie erreichten durch diese Maßnahme¹²

- Kerosineinsparungen von 3,5 bis 4 Prozent bei Langstreckenflügen,
- eine Verringerung der Triebwerkswartungskosten,
- eine Vergrößerung der Reichweite um 130 nautische Meilen (240 km),
- eine zusätzliche Ladekapazität von bis zu 6000 Pfund,
- ein verbessertes Start- und Landeverhalten,
- eine Verbesserung der optimalen Flughöhe,
- eine Verminderung der Abgas- und Geräusch-Emissionen,
- eine höhere Taktung bei der Abfertigung auf Großflughäfen



Abbildung 11: Milan

Vorbild der Konstruktion waren große Vögel wie der Milan oder der Geier die beim Gleitflug zur Widerstandsverminderung die äußersten Federn ausbreiten und so die Entstehung von Wirbeln stark

verringern. Dadurch können Sie leiser aber auch effektiver gleiten. Ein großer Vorteil in der Verminderung der Wirbelschleppen besteht, wie schon beschrieben, in der schnelleren möglichen Taktung der Flugzeuge an großen Flughäfen. Ein großes Problem stellen momentan die noch sehr großen benötigten Sicherheitsabstände zwischen Maschinen dar, besonders im Fall von unterschiedlich großen Maschinen. Da Wirbelschleppen für das Auge nicht sichtbar sind, kann man ihnen nicht ausweichen und bemerkt sie erst, wenn man sich bereits in ihnen befindet. Kleine Flugzeuge können von diesen Verwirbelungen dann zerbrochen werden, selbst größeren Maschinen droht ein Strömungsabriss und möglicherweise ein Aufschlag jenseits oder auf der Landebahn.

¹² Vergleiche http://www.boeing.com/commercial/737family/pf/pf_winglets.html

Wie die Graphik zeigt, vermindern Winglets die Bildung von Wirbelschleppen, sie können jedoch deren Bildung (noch) nicht verhindern.

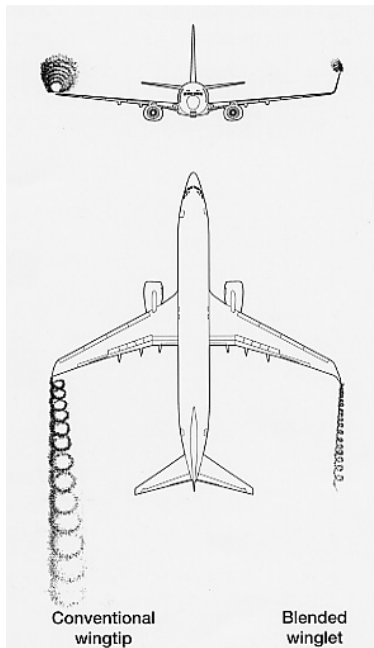
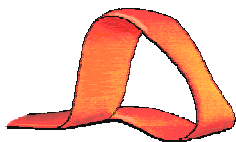


Abbildung 12: Vergleich

Eine Weiterentwicklung der Winglets stellen die Spiroids dar:



13

Durch diese Form ist eine weitere Kraftstoffeinsparung in Höhe von 10 % möglich. Sie sind eine abstrakte Form des Milanflügels. Aufgrund von Materialvorgaben der Flugsicherheitsbehörden sind sie aber noch nicht serienmäßig zulässig, es gibt daher nur Testflugzeuge:

¹³ <http://www.bionik.tu-berlin.de/user/michaels/projekt3.html>



Abbildung 13: Flugzeug mit Spiroids

Rückstromklappentechnik

Flugzeuge brauchen zum Starten und Landen eine im Vergleich zum Vogel verhältnismäßig hohe Start und Landegeschwindigkeit. Dies ist notwendig, da es bei einem Flugzeug bei sehr langsamen Flug schnell zu einem Strömungsabriss kommt. Daher werden Landebahnen entsprechend lang geplant und es gibt Mindestgeschwindigkeiten, die Flugzeuge einhalten müssen.

In aktuellen Forschungsgebieten wird daher versucht, ein anderes Verhalten der Vögel nachzuahmen:

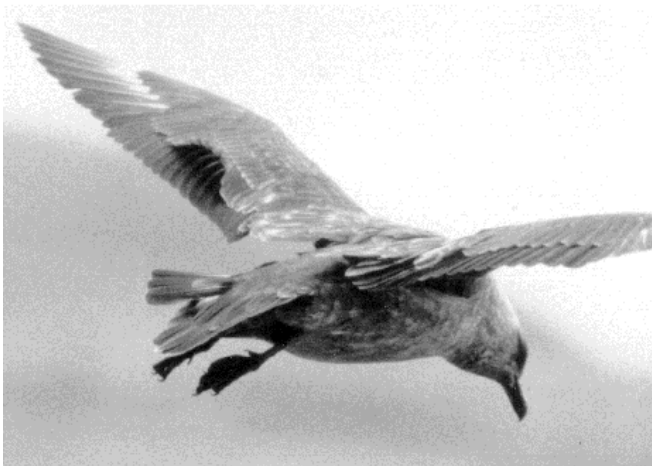


Abbildung 14: Skua mit aufgerichteten Deckfedern (Rückstromtasche)

Bei einem Vogel, links als Beispiel der Skua, der Strömungsabriss, so werden von der umströmenden Luft automatisch die Deckfedern aufgerichtet. Dies führt dazu, dass die Luft auf einem veränderten Weg über den Flügel strömt und so der Abriss der Strömung (Stall) verhindert wird. Daher kann der Vogel auch bei einem sehr langsamen Flug noch kontrolliert gleiten. Zur Verdeutlichung: Ein Flugzeug würde seine Stabilität verlieren, über eine Tragfläche abkippen und es wäre nahezu unmöglich den Absturz zu verhindern.

Die Probleme beim Nachahmen dieser Technik bestehen darin, dass man eine sehr feine Sensorik benötigt und die für die Flügel benötigten Werkstoffe noch nicht sicher genug für einen Einsatz im Flugverkehr sind. Die Flügel müssten ausfahrbar sein und sich innerhalb von einer Sekunde um 40° verstellen lassen, und dies mehrfach in kurzen Abständen aufeinanderfolgend. Dies stellt momentan noch große Probleme für einen längerfristigen Flugbetrieb dar, da die Materialien nur wenige Flugstunden durchhalten könnten. Zudem wäre die Technik nur über einen Computer regelbar, da Menschen nicht schnell genug auf die Strömungsänderungen reagieren könnten.

Formationsflug

Eine verhältnismäßig kostengünstige Einsparmöglichkeit stellt der Formationsflug dar. Bei Versuchen mit Schwänen wurde herausgefunden, dass der Puls des Tieres während des Fluges um 10% niedriger wird, wenn es in einer Formation fliegt. Ebenso fand man aber heraus, dass theoretisch eine Einsparung von



NASA Dryden Flight Research Center Photo Collection
<http://www.dfrc.nasa.gov/gallery/photo/index.html>
NASA Photo: EC01-0328-3 Date: November 9, 2001 Photo by: Carla Thomas
Smoke generators show the twisting paths of wingtip vortices behind two NASA Dryden F/A-18 jets used in the Autonomous Formation Flight (AFF) program

20% möglich sei, Vögel aber nur ca. 14% des machbaren nutzen, also (noch) nicht vollkommen effektiv den Nutzen der Formation gefunden haben.

Abbildung 15: Formationsflug

Diese Energieeinsparung ist ebenfalls bei Flugzeugen möglich. Man versucht dabei die aufsteigenden Wirbelschleppen des voraus fliegenden Flugzeuges auszunutzen und sich mitziehen zu lassen. Bei Experimenten der National Aeronautics and Space Administration (NASA)¹⁴ fand man bei Flugversuchen zweier F 18-Kampffjets heraus, dass das „gezogene“ Flugzeug im Vergleich zu einem außerhalb der Formation fliegenden Flugzeugs 12 % Kerosin einsparte und dieses sich dann natürlich auf die Reichweite positiv auswirkte. Für einen 96 minütigen Formationsflug bedeutete dies eine Einsparung von 600 Pfund Kerosin.

Aufgrund des geringen praktischen Nutzens für die gewerbliche Fliegerei wird in diesem Gebiet verhältnismäßig wenig geforscht. Wirn stellen uns aber eine Nutzung im Bereich des Militärs als möglich vor.

Probleme stellen unter anderem, wie im Bereich der Rückstromklappentechnik, die noch nicht ausreichend entwickelte Sensorik dar.

¹⁴ <http://www.nasa.gov/centers/dryden/news/NewsReleases/2001/01-77.html>

Adaptiver Flügel¹⁵

Der adaptive Flügel nutzt, ähnlich wie die Rückstromklappentechnik, die Fähigkeit in der Natur, sich auf ändernde Gegebenheiten einzustellen. Der adaptive Flügel konzentriert sich dabei aber nicht, wie es bei der Rückstromklappentechnik der Fall ist, auf den Langsamflug. Beim Adaptiven Flügel versucht man vielmehr, für jede Phase des Fluges den Flügel optimal anzupassen, so wie es Vögel in den verschiedenen Flugphasen tun:

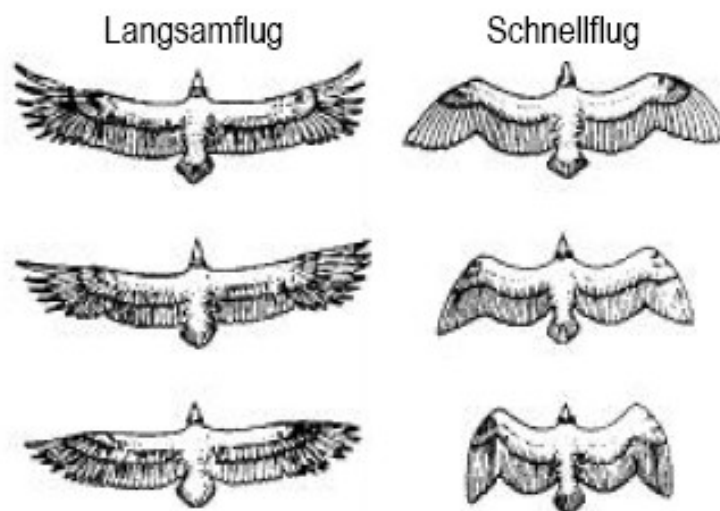


Abbildung 16: Flugphasen



Abbildung 17: F-14 mit ein- und ausgeklappten Flügeln:

Beim langsamen Flug kann man erkennen, dass der Vogel die gesamte Spannweite seines Flügels ausnutzt, um den größtmöglichen Auftrieb zu erhalten. Beim Schnellflug ist der Auftrieb eher ein Nebenprodukt, dort ist vielmehr eine Verminderung des Luftwiderstandes wichtig um hohe Geschwindigkeiten erreichen zu können.

¹⁵ Vergleiche http://opus.rus.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2000/712/pdf/Diss_Mueller_25.01.2000.pdf

Dieses Prinzip in sehr vereinfachter Form wurde jahrzehntelang im Bereich von Kampfflugzeugen eingesetzt. Die Tragflächen der F-14 lassen sich je nach Flugeschwindigkeit und geforderter Manövrierfähigkeit einklappen oder ausfahren:

Heutzutage geht die Entwicklung verstärkt in die Richtung, nicht die Anordnung der Tragflächen sondern deren Form selbst zu verändern. Man experimentiert mit Tragflächen, deren Querschnitt sich bei den verschiedenen Phasen des Starts, des Schnellfluges und der Landung voneinander unterscheiden. Man benutzt also nicht mehr wie heutzutage üblich ein Klappensystem, sondern man passt die Flügelgeometrie an die jeweiligen Flugkonditionen an¹⁶:

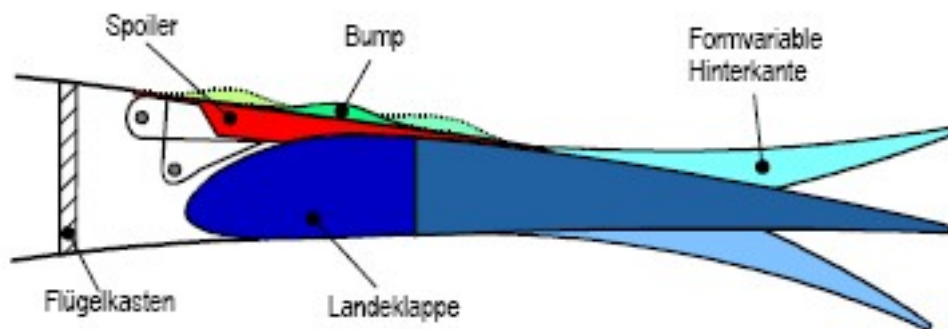


Abbildung 18: Flügelstellung in Flugphasen

Von oben nach unten erkennt man auf dem Bild die drei Flugphasen „Schnellflug“, „Start“ und „Landung“.

Ein Testflugzeug der NASA wurde bereits 1986 mit einem entsprechenden Flügel ausgestattet:



NASA Dryden Flight Research Center Photo Collection
<http://www.dfrc.nasa.gov/gallery/photo/index.html>
 NASA Photo: EC86-33385-002 Date: February 27, 1986
 AFTI F-111 Mission Adaptive Wing (MAW) in flight



Abbildung 19: NASA AFTI F-111 Mission Adaptive Wing (MAW) in flight, Vergrößerung

¹⁶ Vergleiche http://opus.rus.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2000/712/pdf/Diss_Mueller_25.01.2000.pdf, S. 18

Probleme bei der Umsetzung stellt wie bei den anderen Bereichen noch die Wahl des richtigen Materials, dass zugleich sehr flexibel aber trotzdem auch sehr belastbar sein muss, um „Luftlöcher“ und andere Belastungen aushalten zu können. Man hofft hier auch auf eine Weiterentwicklung so genannter Smartmaterials, die hierfür eingesetzt werden könnten.

Große Vorteile in der Fliegerei verspricht man sich durch die möglichen steileren Lande- als auch Startwinkel. Dies würde in bevölkerungsreichen Regionen den Lärmpegel für Anwohner stark verringern, da Flugzeuge ab einer gewissen Höhe nur noch schwach nach unten Lärm abgeben. Dies sieht man zum Beispiel beim Frankfurter Flughafen an den dortigen Vorschriften für einen steilen Steigflugwinkel nach dem Abheben.

Ebenfalls könnte man dadurch das Problem der Wirbelschleppen verringern, da die Flugzeuge auf unterschiedlichen Anflugswinkeln einfliegen und so das nach fliegende Flugzeug den, teilweise kilometerlangen, Wirbelschleppen des voraus fliegenden bzw. –landenden Flugzeuges ausweichen kann.

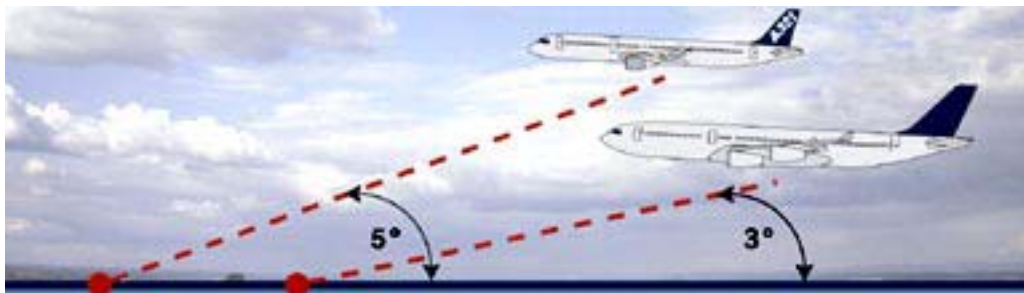


Abbildung 20: verschiedene Anflugswinkel bei adaptiven Flügeln

Resumée:

Zu Beginn des letzten Abschnittes möchten wir auf die Probleme der Bionik in der Luftfahrt eingehen. Diese Probleme liegen insbesondere in der Übertragbarkeit von der Natur auf die Technik. Zugrunde liegt diesen Schwierigkeiten die unterschiedliche Zielsetzung der fliegenden Tiere, denn die Tiere wollen in erster Linie sich selbst fortbewegen. Der Mensch hingegen baut Großraumflugzeuge, welche mit hoher Geschwindigkeit als Massentransportmittel genutzt werden. Auch die aus der Geschwindigkeit resultierenden anderen physikalischen Prämissen bereiten den Bionikern Schwierigkeiten. Hinzu kommen die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, welche vom Kostendruck geprägt sind und somit die Realisierung neuer Techniken behindern.

Ziel der Bionik muss es daher sein, wie Michael Stache und Rudolf Bannasch es formulieren: „Kein plumpes Nachäffen, sondern die tiefer liegenden Prinzipien nutzen.“¹⁷

Weitere Grenzen sind der Bionik auf Grund der technischen Realisierbarkeit der von der Natur abgeschauten Konstruktionen gesetzt. Es Bedarf bis zur Einführung dieser Konstruktionen noch neuer Materialien, als Stichwort sei hier SMART-materials genannt, und neuer Sensortechniken zur Steuerung der Mechanik.

Doch gerade aus den aktuellen Prämissen, wie steigende Kraftstoffpreise und höhere Umweltschutzauflagen könnte sich ein Entwicklungsschub für die Bionik ergeben. Denn auf Grund von äußeren Zwängen, welche nicht zuletzt wirtschaftlicher Natur sind, könnte sich der effiziente Einsatz von der Natur „kopierter“ Ideen rechnen. Man darf nämlich nie vergessen, dass uns die Natur Millionen von Jahren Vorsprung in der Entwicklung hat, von denen der Mensch vielfach noch weit entfernt ist. Gespannt blicken wir nun in die Zukunft und auf die weitere Entwicklung der Bionik, welche vielleicht auch unsere private wirtschaftliche Zukunft in Form von Arbeitsplätzen in unserem Land mitbestimmen könnte.

¹⁷ <http://www.bionik.tu-berlin.de/user/michaels/projekt3.html> (Stand: 16. Januar 2006)

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung:	Quelle:
Titelbild	http://www.eichhorn.ws/html/body_boeing_nasa_afti_f-111_maw.htm
1	http://www.bitjaeger.de/Bilder/Goetter.jpg (Stand: 14.01.2006)
2	http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/b/b4/Kitty-hawk.jpg
3	http://www.lilienthal-museum.de/olma/home.htm
4	http://www.lilienthal-museum.de/olma/home.htm
5	Struktur, Form, Bewegung, H. Hertel, 1963, S. 94
6	Struktur, Form, Bewegung, H. Hertel, 1963, S. 94
7	Struktur, Form, Bewegung, H. Hertel, 1963, S. 95
8	http://opus.rus.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2000/712/pdf/Diss_Mueller_25.01.2000.pdf
9	http://www.hitechnatur.ch/bewegen/6_wolken/6_haihaut.html
11	http://www.bionik.tu-berlin.de/user/michaels/projekt.html
12	http://www.b737.org.uk/winglets.htm
13	http://www.aviationpartners.com/otherprograms/concepts.html
14	http://www.bionik.tu-berlin.de/user/giani/klappen/evo.html
15	http://www.nasa.gov/centers/dryden/news/NewsReleases/2001/0177.html
16	Müller, S. 18
17	http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ac/f-14.htm
18	http://opus.rus.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2000/712/pdf/Diss_Mueller_25.01.2000.pdf
20	http://www.mtu.de/de/special/report/inhalt/technologie_befluegelt/