

Evolution und Luftfahrttechnik

Dr. Wolfgang Send

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
Institut für Aeroelastik, Göttingen

Statt einer Einleitung: François Jacob, *Le jeu des possibles* - Startpunkt einer Reflexion

Standpunkt: „Stand das letzte Jahrhundert der Luftfahrt ganz im Zeichen des ‚starren‘ Flugzeugentwurfs, des konstruktiv vorgegebenen Optimums, so wird das neue 21. Jahrhundert das ‚flexible‘ Flugzeug entwickeln, das sich - in einem noch nicht absehbaren Ausmaß – der seit Millionen von Jahren beherrschten Adaptionfähigkeit der fliegenden Lebewesen annähern wird.“

Eine neue „Dimension“ ohne Vorlage in der Natur: Fliegen in schallnaher (transsonischer) Strömung.

Das größte aller Patente der Natur in der Disziplin Fliegen: Integration der Funktionen Auftriebskraft und Schubkraft in einer einzigen Komponente, dem Tragflügel - Schubkraft aus dem Schwingenflug.

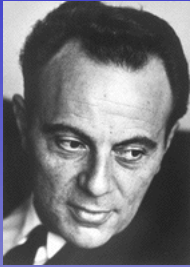
Schwingenflug: Wie funktioniert er? - Werden wir ihn als Menschen je selbst beherrschen? - Könnte er uns wenigstens technisch nutzbar sein?

Physik des Schwingenflugs hat ein gefährliches Pendant: Flugzeugflattern als spiegelbildlicher Vorgang der unerwünschten Leistungsaufnahme aus dem Luftstrom.

Forschen - Verstehen - Anwenden: Hubflügelgenerator*) zur Erzeugung regenerativer Energie aus Flüssen als Anwendung der Physik des Flugzeugflatterns mit der perfekten Kinematik des Schwingenflugs von Insekten.

*) Eine private Entwicklung der kleinen Firma ANIPROP GbR des Autors zusammen mit seinem Firmenpartner Felix Scharstein.





Der französische Biologe François Jacob, geboren 1920 in Nancy, 1965 Nobelpreis für Medizin mit seinen Arbeiten zur Zellgenetik, und unlängst - nun ja, 1996 - zum Mitglied der Académie française gewählt.

Essay *“Le jeu des possibles. Essai sur la diversité du vivant”*

Paris 1981, Edition Fayard

• **Statt einer Einleitung: Reflexion**

Standpunkt: Adaptives Flugzeug

Schallnah: Eine neue „Dimension“

Größtes aller Patente: Der Tierflügel

Schwingenflug: Uns immer verschlossen?

Ein gefährliches Pendant: Flattern

Synthese: Energie vom Hubflügel

“Im Gegensatz zu den meisten Zweigen der Physik macht die Biologie”, so hat er geschrieben, “aus der Zeit einen ihrer wichtigsten Parameter. Auf den Pfeil der Zeit stößt man in der gesamten belebten Welt, die das Produkt einer Evolution in der Zeit ist.”

“Das Spiel der Möglichkeiten. Von der offenen Geschichte des Lebens”, in der deutschen Übersetzung 1983 erschienen bei Pieper.



Otto Lilienthal (1848-1896)

Luftfahrtpionier und „Großmeister der Fliegekunst“. Baute Gleitflieger und unternahm damit die ersten systematischen Gleitflüge.

Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst

Gärtner Verlag, Berlin 1889. Englische Übersetzung 1911.

IMPORTANT LEGAL NOTICE - The information on this site is subject to a [disclaimer](#) and a [copyright notice](#)

English

Europa > European Commission > Research > Press releases

Search | Site Map | Index | Information | Mailbox | Feedback

European Research Area

Press release

Research Programmes

- ▶ [Sixth Framework Programme \(2002-2006\)](#)
- ▶ [Fifth Framework Programme \(1998-2002\)](#)
- ▶ [Frequently Asked Questions](#)
- ▶ [Fourth Framework Programme \(1994-1998\)](#)

Why European Research?

What's new?

Publications

Useful Links

**Less fuel, less noise, more comfort:
European research to deliver
advanced wing technologies,
for new generation commercial
aircraft**

Brussels, 1 July 2002

Key words : Aeronautics industry research, environment, transport, European Research Area

• **Statt einer Einleitung: Reflexion**

Standpunkt: Adaptives Flugzeug

Schallnah: Eine neue „Dimension“

Größtes aller Patente: Der Tierflügel

Schwingenflug: Uns immer verschlossen?

Ein gefährliches Pendant: Flattern

Synthese: Energie vom Hubflügel

Selektionsvariable:

- Weniger Widerstand
- Weniger Treibstoff
- Weniger Lärm

„The Green Aircraft“

AWIATOR, a new European Technology Platform project to reduce fuel burn and noise in future commercial airliners was launched today*) in Toulouse ... On this occasion, Airbus and the other partners in the AWIATOR consortium celebrated the kick-off of this new EUR 80 Million technology platform. The project, co-financed for 50% by the EU's research budget, will validate advanced technologies for future aircraft wing design. It will directly contribute to the ambitious goals set out in the High Level Report "European Aeronautics: Vision for 2020". They include a 50% reduction of fuel burn and a reduction by half of aircraft noise.

*) July 1th, 2002

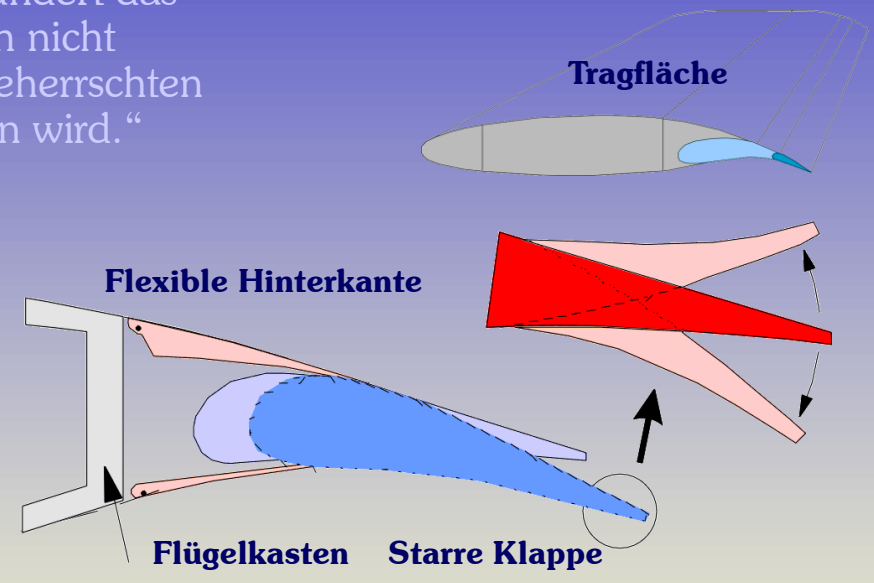


Standpunkt: „Stand das letzte Jahrhundert der Luftfahrt ganz im Zeichen des ‚starrten‘ Flugzeugentwurfs, des konstruktiv vorgegebenen Optimums, so wird das neue 21. Jahrhundert das ‚flexible‘ Flugzeug entwickeln, das sich - in einem noch nicht absehbaren Ausmaß – der seit Millionen von Jahren beherrschten Adaptionsfähigkeit der fliegenden Lebewesen annähern wird.“

Statt einer Einleitung: Reflexion
• **Standpunkt: Adaptives Flugzeug**
Schallnah: Eine neue „Dimension“
Größtes aller Patente: Der Tierflügel
Schwingenflug: Uns immer verschlossen?
Ein gefährliches Pendant: Flattern
Synthese: Energie vom Hubflügel



ADIF Teilprojekt I: Variable Wölbung durch Funktionserweiterung des konventionellen Klappensystems



ADIF Teilprojekt II: Erweiterung der Adaptivität. Variable Wölbung durch Funktionserweiterung des konventionellen Klappensystems

Ein Beispiel aus der Luftfahrtforschung: Das Projekt ADIF (1997-2001)
Daimler-Chrysler Aerospace, Daimler-Chrysler Forschung, DLR
Adaption: Vorbild Natur als Schlüssel zur Widerstandsminderung





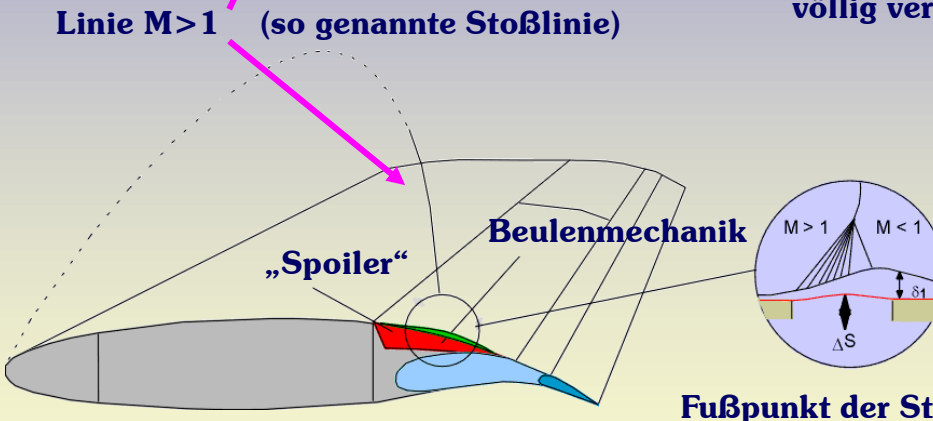
Grenzen des „Lernens von der Natur“ in der Luftfahrttechnik

Die schallnahe Strömung eines Verkehrsflugs mit lokalen Überschallgebieten ($M > 1$) ist ohne Vorbild in der Natur.

Machzahl M : Verhältnis der Geschwindigkeit des Flugzeugs (relativ zur Luft) zur Schallgeschwindigkeit.

Eine Anmerkung zum gepfeilten Flügel:

Morphologisch ähnlich aber funktional völlig verschieden!



ADIF Teilprojekt III: Adaptive Aufdickung der Kontur („Konturbeule“) zur Verringerung des Widerstandes der schallnahen Strömung.

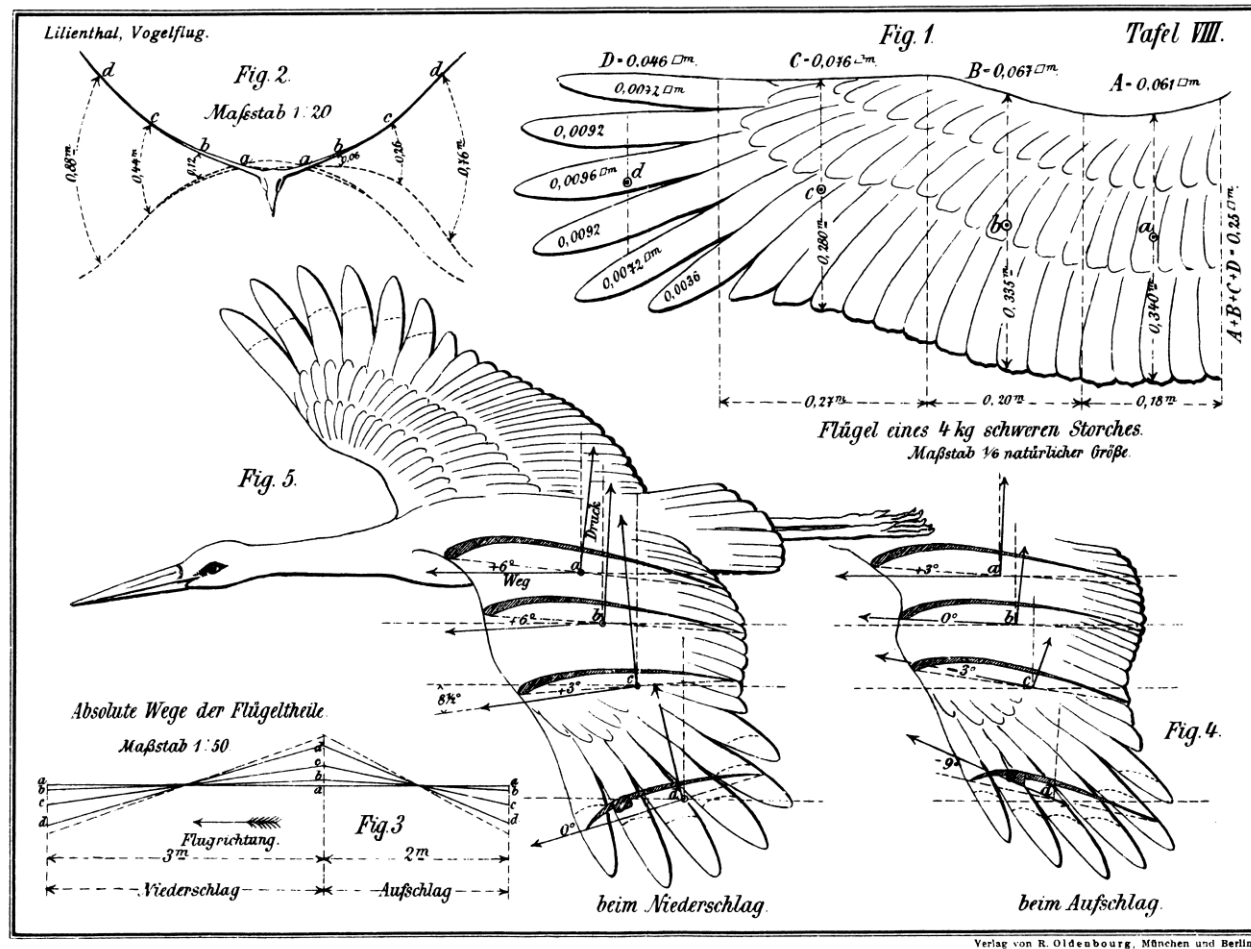
Fisch: Vermutlich zur Erhöhung der Schubkraft

Flugzeug: Verringerung des schallnahen Widerstands

Hübsch gestaltet, aber die verlockendste Deutung wäre die falsche!



Statt einer Einleitung: Reflexion
 Standpunkt: Adaptives Flugzeug
 Schallnagh: Eine neue „Dimension“
 • **Größtes aller Patente: Der Tierflügel**
 Schwingenflug: Uns immer verschlossen?
 Ein gefährliches Pendant: Flattern
 Synthese: Energie vom Hubflügel



Schlagen, Drehen und Schwenken sind die kinematischen Grundmuster.

Beim Aufschlag ist der Flügel positiv angestellt, beim Abschlag (Niederschlag) negativ verdreht.

Der kürzere absolute Weganteil bei Aufschlag wird durch das Zurückziehen des Flügels (Schwenken) beim Aufschlag erreicht.

Lilienthal gibt eine Fluggeschwindigkeit von 12 m/s an. Die Schlagfrequenz ist etwa 2 Hz .

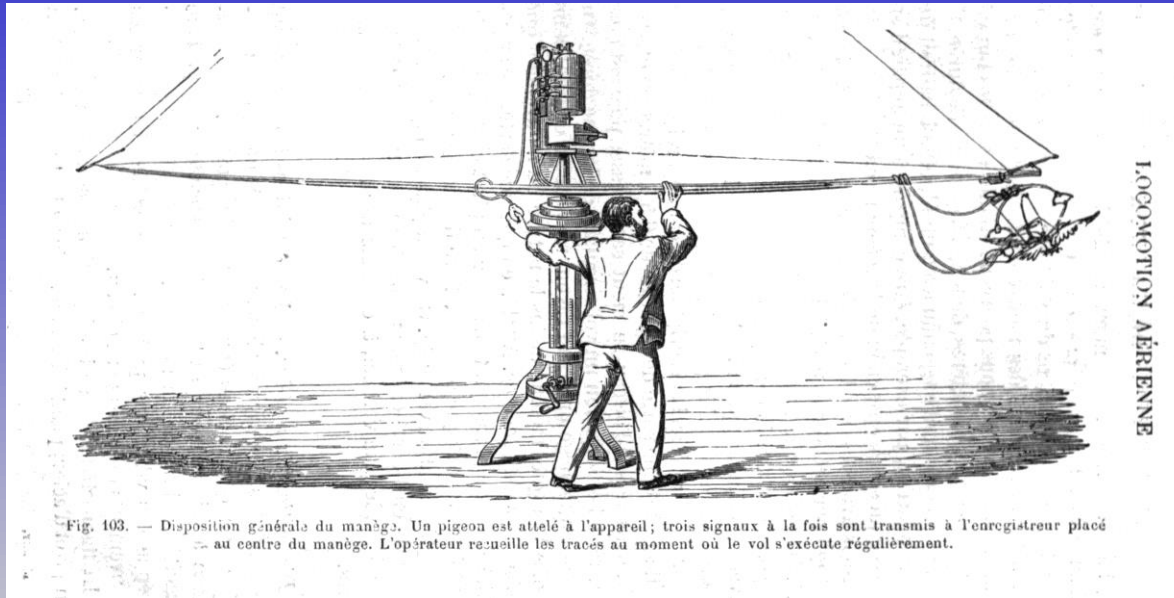
Schwingenflug

Gekoppelte Schlag- und Drehbewegung

Die Erforschung des Schwingenflugs I

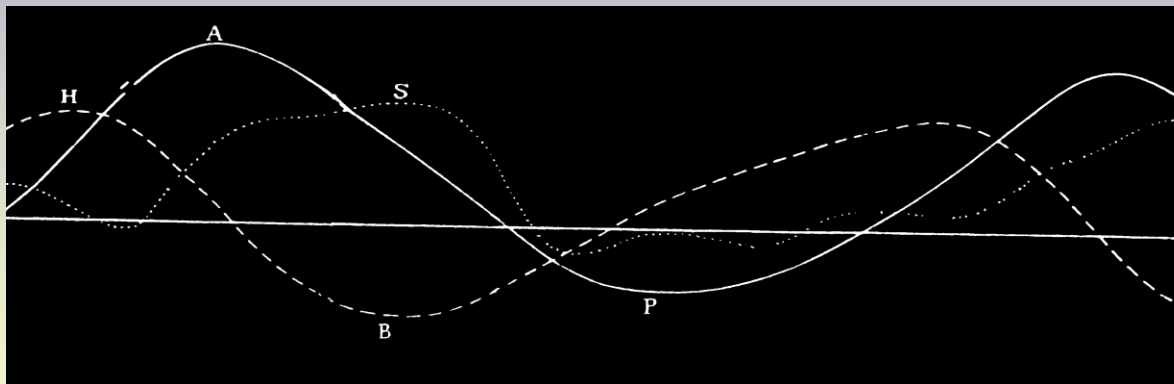
O. Lilienthal, Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst (Tafel VIII)





Statt einer Einleitung: Reflexion
Standpunkt: Adaptives Flugzeug
Schallnah: Eine neue „Dimension“
• **Größtes aller Patente: Der Tierflügel**
Schwingenflug: Uns immer verschlossen?
Ein gefährliches Pendant: Flattern
Synthese: Energie vom Hubflügel

**Étienne-Jules Marey, *Le Vol des Oiseaux*,
Éd. G. Masson, Paris 1890.**
Französischer Physiologe (1830-1904) in Paris.
Entwickelte die Chronophotographie für bewegte
Vorgänge und untersuchte vor allem auch den
Vogelflug.



**Étienne-Jules Marey, *La Machine Animale*
Éd. F. Alcan, Paris 1891.**
Fig. 110 mit den drei Freiheitsgraden der
Bewegung (Verlauf von rechts nach links):
Schlagen (HB^1), Drehen (S^2) und Schwenken
(AP^3), gemessen an einem Bussard. Das
Schwenken wird wie bei Lilienthal auch indirekt
sichtbar durch den längeren absoluten Weganteil
des Abschlages. Die Spuren der Nadeln seiner
Druckmesser auf Rußwalzen sind ein bedeutendes
historisches Zeugnis.

- 1 Mouvement de haut en bas
- 2 Torsion de l'articulation scapulo-humérale
- 3 Avant et arrière (le bord postérieur est relevé)

Die Erforschung des Schwingenflugs II





Statt einer Einleitung: Reflexion
Standpunkt: Adaptives Flugzeug
Schallnah: Eine neue „Dimension“
• **Größtes aller Patente: Der Tierflügel**
Schwingenflug: Uns immer verschlossen?
Ein gefährliches Pendant: Flattern
Synthese: Energie vom Hubflügel

Beim Flugzeug übernehmen die Triebwerke die Aufgabe, den Widerstand zu überwinden.

Beim Schwingenflug der fliegenden Lebewesen sind die beiden Aufgaben

- Tragen des Lebewesens durch dynamischen Auftrieb
- Überwinden des Strömungswiderstandes durch Erzeugen von Schubkraft

funktional vereinigt: Genial, aber könnten wir als Menschen je fliegen?

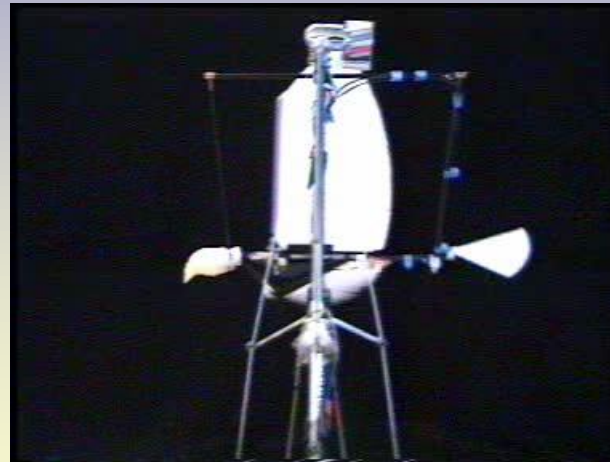
Zentrales Gleichgewicht: Auftrieb und Widerstand



**Rundlauf ANIPROP RL3
im DLR_School_Lab in Göttingen
XLAB International Science Camp 2004
„The Physics of Flying“ (W. Send)**

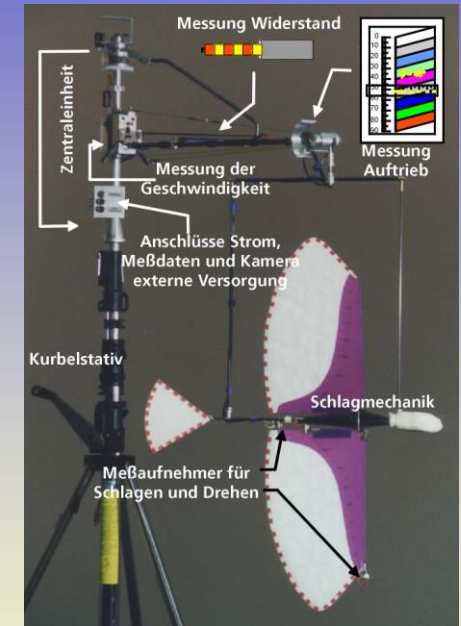


Auftrieb einer Tragfläche (Film)



Schubkraft eines künstlichen Vogels (Film)

- Statt einer Einleitung: Reflexion
- Standpunkt: Adaptives Flugzeug
- Schallnah: Eine neue „Dimension“
- **Größtes aller Patente: Der Tierflügel**
- Schwingenflug: Uns immer verschlossen?
- Ein gefährliches Pendant: Flattern
- Synthese: Energie vom Hubflügel

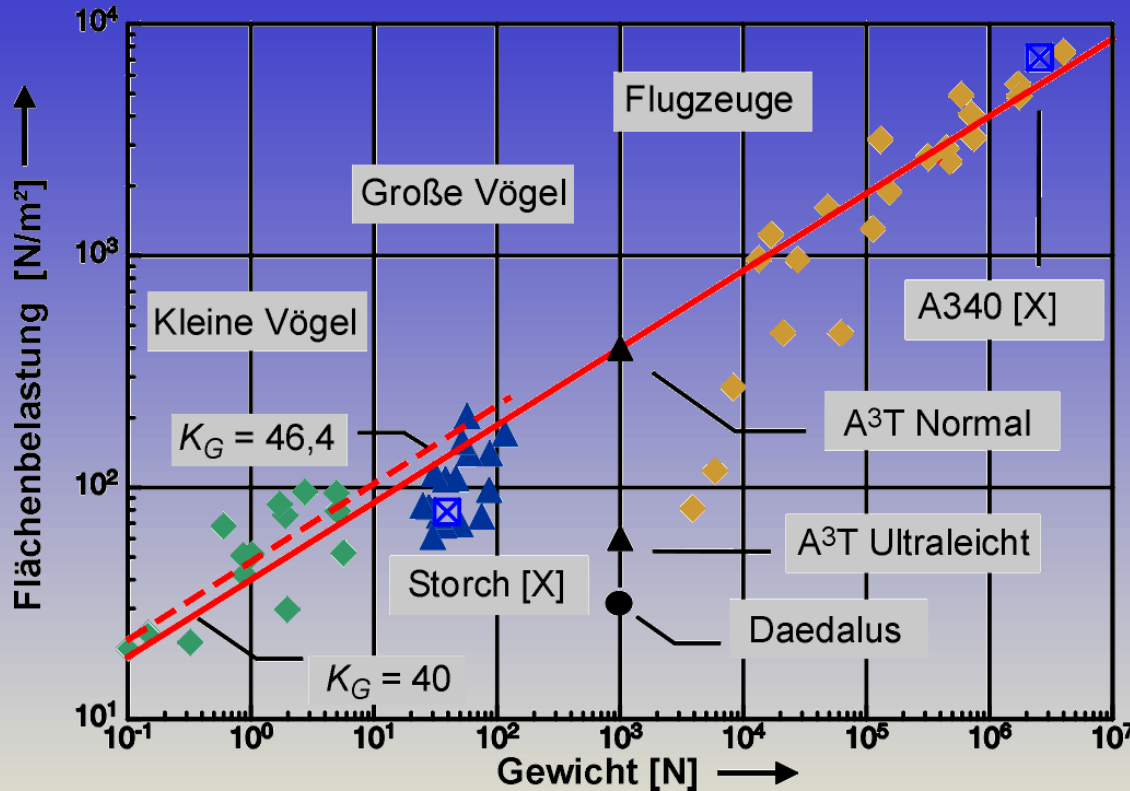


Funktionalität des RL3

Auftrieb und Schubkraft im Versuch



Statt einer Einleitung: Reflexion
 Standpunkt: Adaptives Flugzeug
 Schallnah: Eine neue „Dimension“
 Größtes aller Patente: Der Tierflügel
 •Schwingenflug: Uns immer verschlossen?
 Ein gefährliches Pendant: Flattern
 Synthese: Energie vom Hubflügel



**Eine ziemlich universelle Beziehung:
 Flächenbelastung über Gewicht**

$$\gamma = \frac{G}{S} = k_G \sqrt[3]{G}$$

Flächenbelastung: Gewicht G eines Fliegers oder eines Lebewesens, bezogen auf die Grundrissfläche S seiner Flügel.

Gefunden wurde diese Beziehung schon Mitte des 19. Jahrhunderts (auch Marey verwendet sie).

Im Datenpunkt **A³T Ultraleicht** müssten wir bereits 600 W aufbringen.

Auf der roten Linie bei **A³T Normal** wären es unerreichbare 3000 W.

W. Send, *Der Traum vom Fliegen*, Naturwissenschaftliche Rundschau **56** (2003), 65-73.

Sportler	P [W]	w [W/kg]	T [min]
Pilot Schwingenflieger	600	8,0	10?
Miguel Indurain (Ergometer)	550	7,1	20
Jan Ullrich (Tour de France '97)	480	6,4	38
Eddy Merckx (Ergometer)	440	5,9	60
Kan. Kanellopoulos (Flug)	225	3,1	235

**Könnten wir fliegen wie die Vögel?
 Im Prinzip ja - Aber es wird wohl nie ein Volkssport**





Statt einer Einleitung: Reflexion
Standpunkt: Adaptives Flugzeug
Schallnah: Eine neue „Dimension“
Größtes aller Patente: Der Tierflügel
•Schwingenflug: Uns immer verschlossen?
Ein gefährliches Pendant: Flattern
Synthese: Energie vom Hubflügel

Das Konzept „Advanced Adaptive Airplane Technologies A³T“ des Autors

Natur von überlegener und unerreichbarer Leistungsfähigkeit in ihrem Bereich: Werkstoffe, Strömungsmechanik, Flugsteuerung, vor allem hinsichtlich der Adaptionsfähigkeit des Flugapparats.

Aber: Tiere transportieren nur sich selbst, die Größe der fliegenden Lebewesen ist beschränkt und Flugbereich ist nur der Unterschall. Es gibt gute Gründe für diese Beschränkungen, aber:

Sind die Beschränkungen unüberwindlich oder lassen sich die durch die Evolution hochgezüchteten Techniken - wenigstens teilweise - konstruktiv nutzen (subsidiäre Schuberzeugung)?

Vögel und große Flugzeuge liegen auf der gleichen Linie für Flächenbelastung über Gewicht !

Ist der Schwingenflug technisch nutzbar?

Im Prinzip ja - Aber dahin ist noch ein weiter Weg

Seit 2004: Prinzipstudien im Rahmen eines DLR-Forschungsprojekts





Statt einer Einleitung: Reflexion
Standpunkt: Adaptives Flugzeug
Schallnah: Eine neue „Dimension“
Größtes aller Patente: Der Tierflügel
• **Schwingenflug: Uns immer verschlossen?**
Ein gefährliches Pendant: Flattern
Synthese: Energie vom Hubflügel

Wirklich abgehoben hat der Flieger nur ganz kurz über der Landebahn.

Es hat immer wieder Schwierigkeiten gegeben, teils technischer Art. Zu Anderen darf man auch kein Risiko für den Piloten eingehen.

Ist der Schwingenflug technisch machbar?

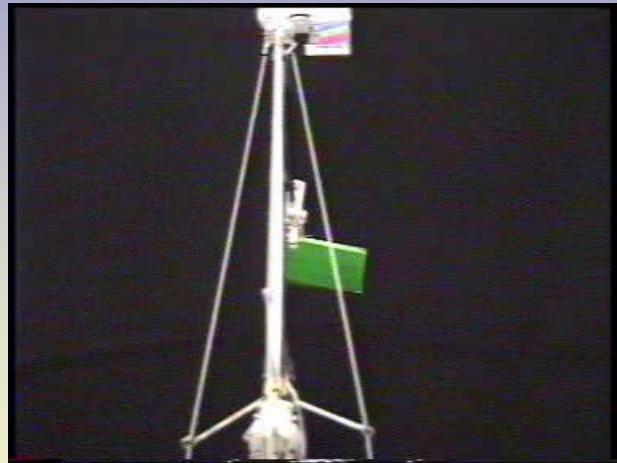
Full-scale piloted ornithopter J.D. DeLaurier
University of Toronto, Canada



Statt einer Einleitung: Reflexion
Standpunkt: Adaptives Flugzeug
Schallnah: Eine neue „Dimension“
Größtes aller Patente: Der Tierflügel
Schwingenflug: Uns immer verschlossen?
• **Ein gefährliches Pendant: Flattern**
Synthese: Energie vom Hubflügel

Start

**Flattern eines Flugzeugs
und Einsturz der Brücke
über die „Tacoma Narrows“
bei Seattle/USA (Film).**



**Flattern einer Tragfläche
mit dem Rundlauf RL3 (Film)**

Physikalische Ursachen:

Hubflügel, Flattern. Wenn die Querkraft der Strömung (Auftrieb und Abtrieb) auf den Flügel so wirkt, dass der **Flügel entgegen seiner Bewegung festgehalten** werden muss, dann wird Leistung entnommen (**negative Schlagleistung**).

Schwingenflug. Muss man gegen die Querkraft der Strömung Leistung aufbringen, den **Flügel also in Richtung seiner Bewegung mit Kraft schieben** dann ist Leistung aufzubringen (**positive Schlagleistung**).

Flugzeugflattern - Auch Gefahr für Brücken und Gebäude

Die unerwünschte Aufnahme von Leistung aus dem Luftstrom
oberhalb einer Grenzggeschwindigkeit



Statt einer Einleitung: Reflexion
 Standpunkt: Adaptives Flugzeug
 Schallnah: Eine neue „Dimension“
 Größtes aller Patente: Der Tierflügel
 Schwingenflug: Uns immer verschlossen?
 Ein gefährliches Pendant: Flattern
 •Synthese: Energie vom Hubflügel

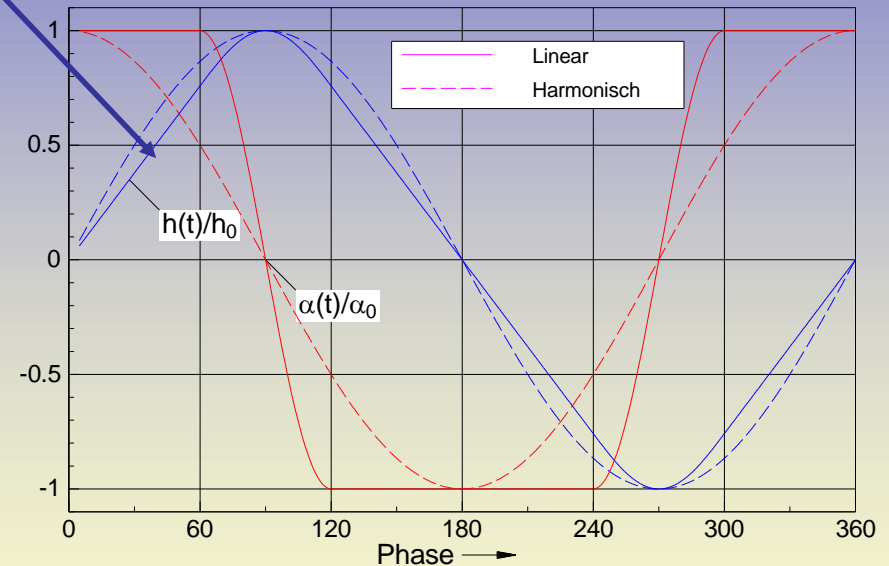
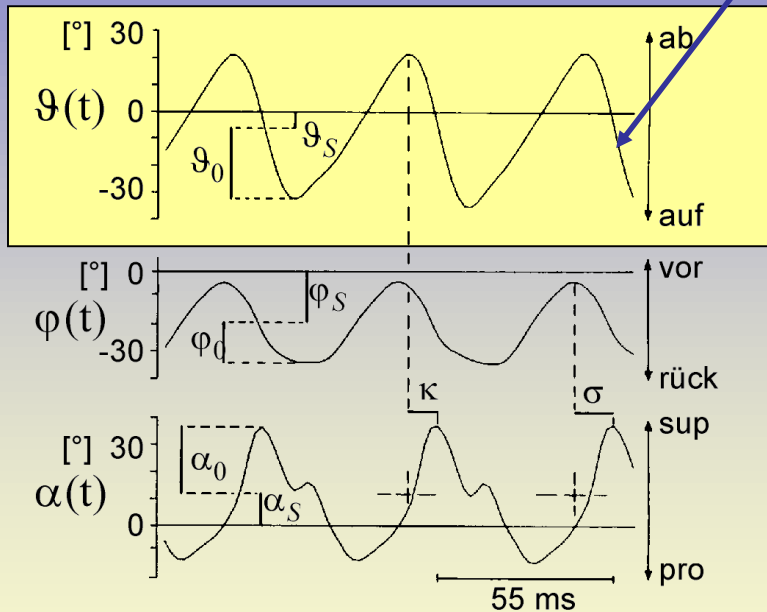


Schlagen, Schwenken und Drehen Kinematik einer Heuschrecke (Labor Prof. Zarnack, Universität Göttingen)

Partiell linear: Lineare Flanken bei der Schlagbewegung

Partiell lineare Kinematik des Hubflügels

Partiell lineare Hubbewegung
 Linearer Bereich + Sinus-Bogen: $\varphi_L = 60$ Grad



Forschen - Verstehen - Anwenden: Der Hubflügelgenerator I

Erzeugung regenerativer Energie aus Flüssen als Anwendung der Physik des Flugzeugflatterns mit der perfekten Kinematik des Schwingenflugs von Insekten.



Das ist das letzte Bild gewesen!
Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Hubflügelmodell im Wasserkanal (2001)

Statt einer Einleitung: Reflexion
Standpunkt: Adaptives Flugzeug
Schallnah: Eine neue „Dimension“
Größtes aller Patente: Der Tierflügel
Schwingenflug: Uns immer verschlossen?
Ein gefährliches Pendant: Flattern
•**Synthese: Energie vom Hubflügel**



**Film: Hubflügelgenerator in Augsburg
Mittlerer Lech (Seit Juni 2004)**

Die welterste Installation in einem Gewässer!

Nennleistung 1 kW bei 2 m/s Fließgeschwindigkeit

Forschen - Verstehen - Anwenden: Der Hubflügelgenerator II

Erzeugung regenerativer Energie aus Flüssen als Anwendung der Physik des Flugzeugflatterns mit der perfekten Kinematik des Schwingenflugs von Insekten.

