

# Das Konzept Hubflügelgenerator

Kolloquium am 3. November 2005  
Hochschule für Angewandte Kunst und Wissenschaft (HAWK)  
Standort Göttingen

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



**Hubflügelgenerator ANIPROP HFG3**  
**Konstrukteur und Erbauer: Felix Scharstein (Berlin)**  
**Energie aus einem fließenden Gewässer**  
**mit Hilfe der gekoppelten Schlag- und Drehbewegung**  
**einer Flugzeugtragfläche**

## Gliederung des Vortrags:

- Die Idee und ihre Geschichte
- Physik I: Grundlagen
- Exkurs: Instationäre Aerodynamik
- Physik II: Leistungsbilanz
- Versuche im Wasserkanal 2001
- Technologiedemonstrator 2004
  - Patent und Wasserrecht
  - Wirtschaftliche Perspektive

- **Die Idee und ihre Geschichte**
- Physik I: Grundlagen
- Exkurs: Instationäre Aerodynamik
- Physik II: Leistungsbilanz
- Versuche im Wasserkanal 2001
- Technologiedemonstrator 2004
  - Patent und Wasserrecht
  - Wirtschaftliche Perspektive

> Die – schädliche – Leistungsaufnahme durch schwingende Tragflächen oberhalb einer Grenzgeschwindigkeit war eine extreme Bedrohung \*) der jungen Technologie „Luftfahrt“ zu Anfang des 20. Jahrhunderts, die aufgeklärt wurde durch eine Dissertation bei Ludwig Prandtl:

**Birnbaum, W. : Das ebene Problem des schlagenden Flügels  
Z. angew. Math. Mech. 4 (1924), 277-292.  
(Publikation zur Disseration 1922 an der Universität Göttingen).**

> Mechanismus bekannt, aber nie verwertet. Erste systematische Studie im Windkanal 1980:

**McKinney, W., DeLaurier, J.: The wingmill: An oscillating-wing windmill.  
Journal of Energy, Vol.5, No. 2 (1981), 109-115.**

> Studien zur Schubkraft beim Schwingenflug (Vogelflug) erfassen auch die Energiegewinnung:

**Jones, K.D., Platzer, M.: Numerical Computation of Flapping-Wing Propulsion  
and Power Extraction, AIAA Paper No. 97-0826, Reno, Nevada , January 1997, U.S.A.  
... sowie Folgearbeiten**

> Danach Zusammenarbeit mit Max Platzer und jeweils eigene Experimente 2000 und 2001.

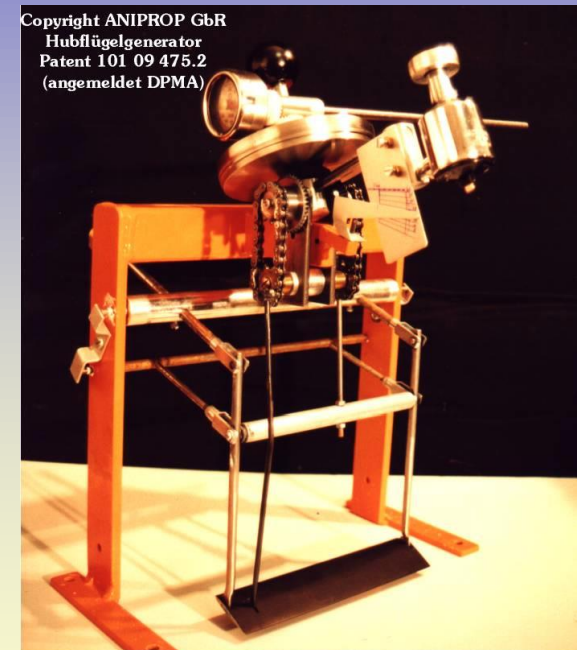
**\*) Bis heute ist die „Flutterstabilität“ zentrales Problem bei der Entwicklung von Flugzeugen  
und auch bei Tragflächen in Rotoren: Schlüsselthema des DLR-Instituts für Aeroelastik.**

> Selbst theoretische Beiträge geleistet, aber die Formeln nur mit dem Ziel der Aufdeckung der Mechanismen der Schuberzeugung beim Tierflug verwendet. Erst später ergab sich der doppelte Nutzen!

- **Die Idee und ihre Geschichte**
- Physik I: Grundlagen
- Exkurs: Instationäre Aerodynamik
- Physik II: Leistungsbilanz
- Versuche im Wasserkanal 2001
- Technologiedemonstrator 2004
  - Patent und Wasserrecht
  - Wirtschaftliche Perspektive

## Gründe für eine genauere Beschäftigung mit der Energiequelle Hubflügel:

- Erneuerbare Energien haben einen hohen Stellenwert bekommen. Die Gewinnung regenerativer Energie ist ökologisch ein Gebot - auch aus Quellen, die in früheren Zeiten als unwirtschaftlich galten.
- Das “Hubflügelkraftwerk” ist eine Erweiterung der Nutzung der Wasserkraft. Genutzt wird die kinetische Energie des fließenden Wassers.
- Der Einsatz ist dort möglich, wo geologische Gründe oder die Erhaltung des natürlichen Gewässers keine andere Energiegewinnung gestatten.
- Die quer im Flussbett liegende Tragfläche gestattet große Abmessungen und eine optimale Ausnutzung des natürlichen Fließquerschnitts.



... so entstand das erste Modell.

# Projekt „Stingray“

(aus einem Parlamentsbericht Oktober 2003)

**Q2 1997 Q3 2001 - 384 £k**

Development of tidal stream technology, Smart award, development of Stingray concept, search for partners

**Q3 2001 Q1 2002 - 260 £k**

Stingray Phase 1- Feasibility Study

**Q1 2002 Q4 2002 - 1,972 £k**

Stingray Phase 2- Design, build, install, operate, recover and analyse 150kW demonstrator

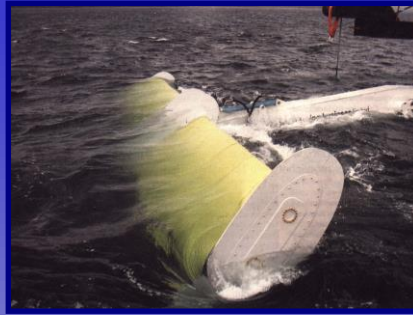
**Q1 2003 Q2 2003 - 682 £k**

Stingray Phase 2 extension for further analysis, time-critical Phase 3 items

**Q2 2003 Q4 2003 - 2,887 £k**

Stingray Phase 3—Modifications, reinstallation, operation and analysis of 150kW demonstrator

**Total funding to date 6,185 £k (~9.09 Mio. EUR)**



- **Die Idee und ihre Geschichte**
- Physik I: Grundlagen
- Exkurs: Instationäre Aerodynamik
- Physik II: Leistungsbilanz
- Versuche im Wasserkanal 2001
- Technologiedemonstrator 2004
  - Patent und Wasserrecht
  - Wirtschaftliche Perspektive

## Stingray Comes Home

Following the full decommissioning of the Shetland test site and completion of a post trial seabed survey, the Stingray demonstrator has been returned to North East England.

"This marks the end of the demonstration project - we have shown that the technology is feasible, validated our modelling and fully investigated the environmental impact of Stingray" ...

However, **EB** alone cannot fund such a project and after a thorough review **has put a hold on future development of Stingray until there are clear indications that the level of investment is likely to yield a satisfactory return for EB and any partners.**

**"This has been a difficult decision but without a clear route to profitability in the next stage of the programme, EB cannot sustain continued development of Stingray at this time"** - Tony Trapp, MD.

*EB-Firmenzeitschrift "Current Times" – Ausgabe 24, November 2004*



**Parallelentwicklung „Stingray“ 150 kW – gleich gigantisch  
Engineering Business (England) - Projekt Mitte 2004 einstweilen eingestellt!**

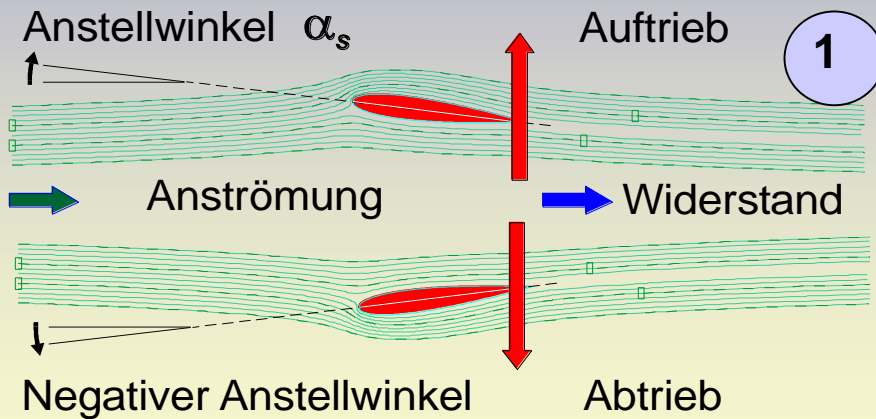
# In einer gleichförmigen Anströmung kann man mit der gleichzeitigen Schlag- und Drehbewegung einer Tragfläche

sowohl

Leistung gegen die Strömung aufbringen und damit Schubkraft erzeugen (Vögel, Insekten, Fische)

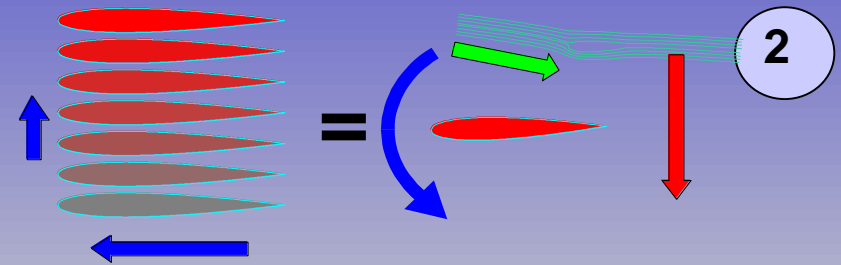
als auch

der Strömung Leistung entziehen (so genanntes Flugzeugflattern, Hubflügel).

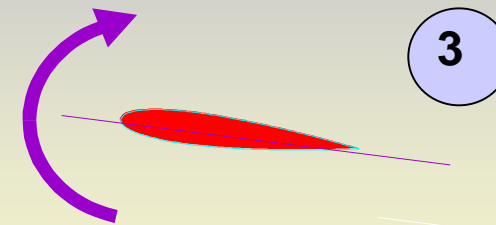


## Einige Grundlagen bei Strömungen

- Die Idee und ihre Geschichte
- **Physik I: Grundlagen**
- Exkurs: Instationäre Aerodynamik
- Physik II: Leistungsbilanz
- Versuche im Wasserkanal 2001
- Technologiedemonstrator 2004
  - Patent und Wasserrecht
  - Wirtschaftliche Perspektive

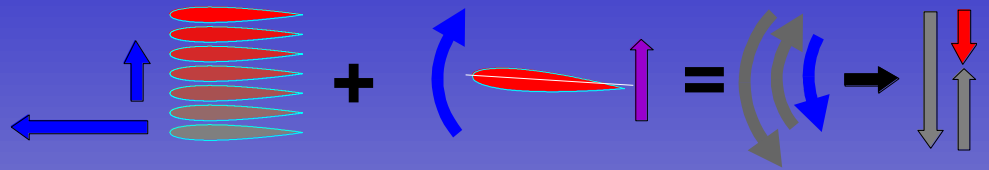


Anströmung+Aufschlag ergibt einen negativen kinematischen Anstellwinkel. Ergebnis ist eine Abtriebskraft.



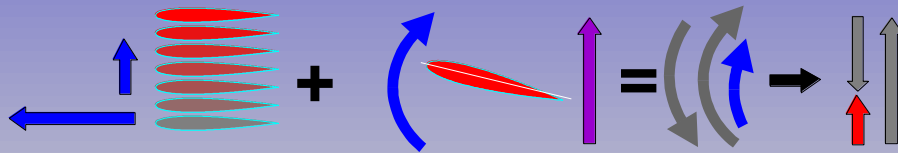
Drehung ergibt  
a) Auftrieb  
b) Richtungsänderung der Normalkraft (Schub!)

## Schwingenflug:

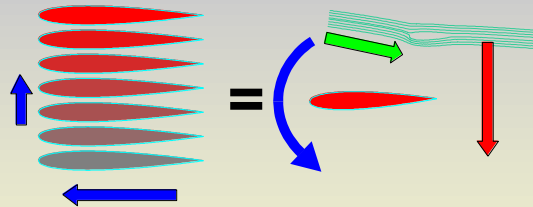
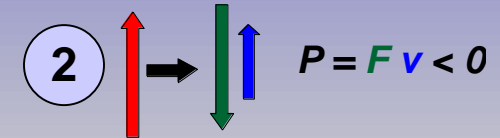
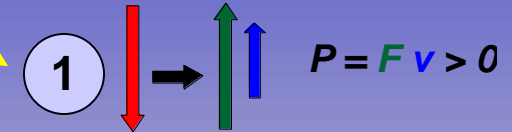


Geometrischer Anstellwinkel klein:  $P = F v > 0$

## Flattern:



Geometrischer Anstellwinkel groß:  $P = F v < 0$



Anströmung+Aufschlag ergibt einen negativen kinematischen Anstellwinkel. Ergebnis ist eine Abtriebskraft.

- 1 **Abtrieb:** Flügel muss gegen die Reaktionskraft des Fluids eine Kraft  $F$  aufbringen („Schwingenflug“)!  
Kraft  $F$  bestimmt Vorzeichen, wenn Geschwindigkeit  $v$  unverändert bleibt.
- 2 **Auftrieb** beim setzt Leistung frei. („Flugzeugflattern“). Flügel muss „festgehalten“ werden.

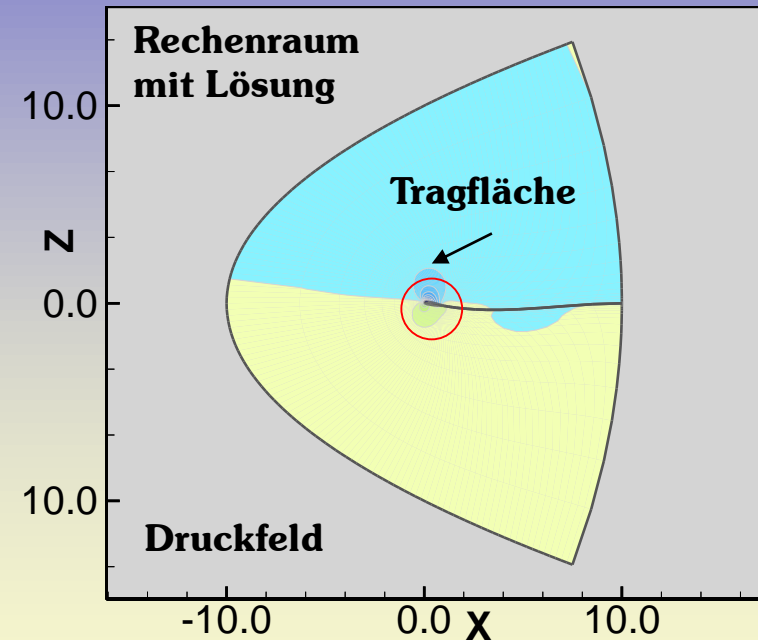
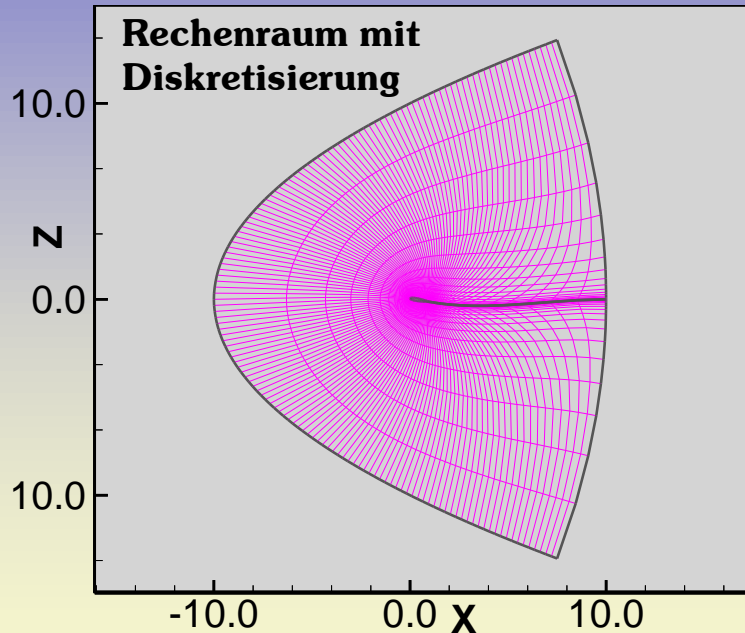
## Leistungen beim Schwingenflug und beim Flugzeugflattern (Aufschlag betrachtet)

- Die Idee und ihre Geschichte
- **Physik I: Grundlagen**
- Exkurs: Instationäre Aerodynamik
- Physik II: Leistungsbilanz
- Versuche im Wasserkanal 2001
- Technologiedemonstrator 2004
  - Patent und Wasserrecht
  - Wirtschaftliche Perspektive

## Eine physikalisch genaue Berechnung der Strömung um den schwingenden Hubflügel ist äußerst schwierig:

- Die bewegte Tragfläche hat extreme Amplituden.
- Die Strömung hat eine freie, veränderliche Oberfläche.
- Die Ränder (Boden und Ufer) sind ungleichförmig und erzeugen Grenzschichten.
- Die reale Anströmung hat einen hohen Turbulenzgrad.

- Die Idee und ihre Geschichte
- Physik I: Grundlagen
- **Exkurs: Instationäre Aerodynamik**
- Physik II: Leistungsbilanz
- Versuche im Wasserkanal 2001
- Technologiedemonstrator 2004
  - Patent und Wasserrecht
  - Wirtschaftliche Perspektive



## Genäherte Berechnung in einem diskretisierten Rechenraum

(2D-Verfahren aus der Luftfahrtforschung: Eulerlöser von V. Carstens)

Machzahl 0.2 bedeutet „Hydrodynamik“ (inkompressibles Fluid)

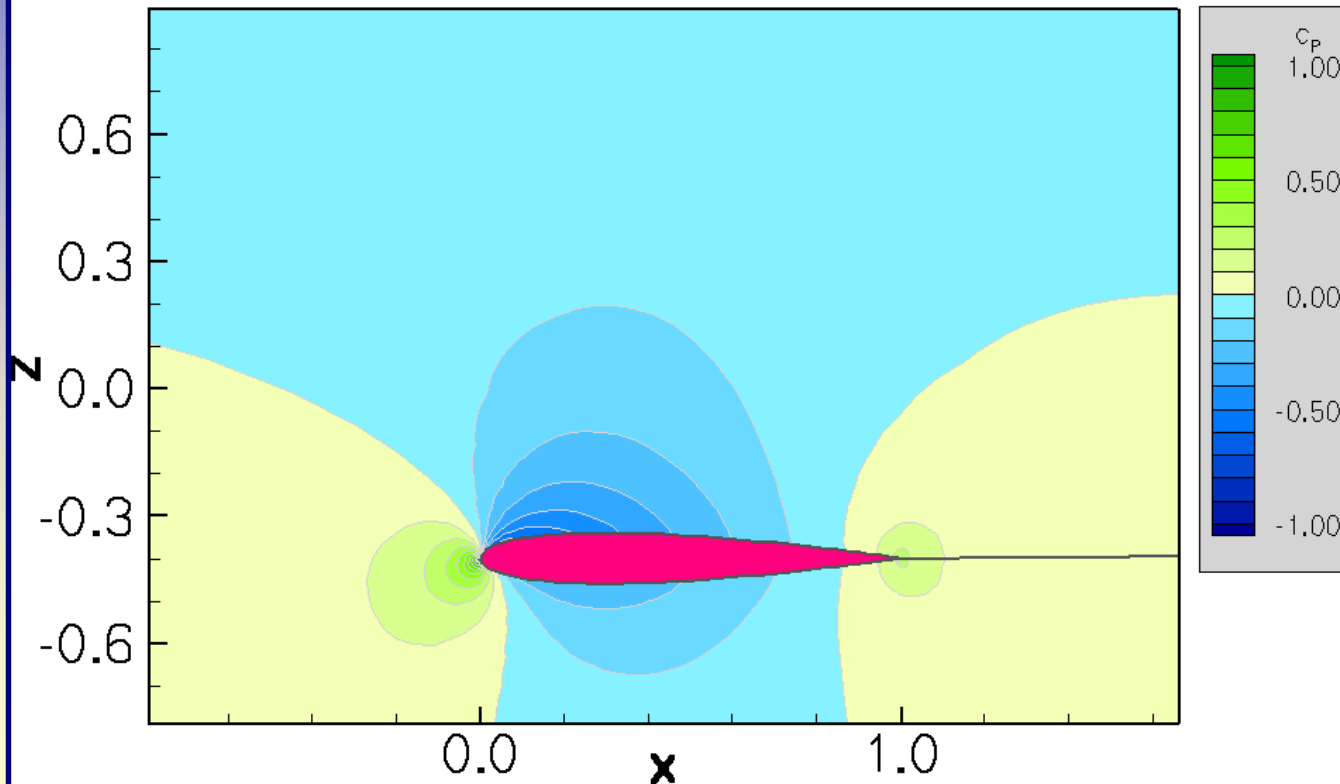
# Instationäre Aerodynamik I

**Kennzeichen: Kräfte verlaufen nicht zeitgleich mit der Bewegung**

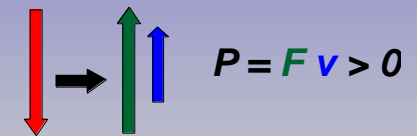
- Die Idee und ihre Geschichte
- Physik I: Grundlagen
- **Exkurs: Instationäre Aerodynamik**
- Physik II: Leistungsbilanz
- Versuche im Wasserkanal 2001
- Technologiedemonstrator 2004
  - Patent und Wasserrecht
  - Wirtschaftliche Perspektive

## Profilquerschnitt NACA0012 - Schlagen

Harmonische Kinematik:  $h_0/c = 0.4$ ,  $\omega^* = 0.15$  ( $c/2$ ) - Ohne lineare Anteile



**Situation beim Aufschlag:**



**Die reine Schlagbewegung benötigt immer Leistung, damit sie fortbesteht.**

**Dargestellt sie die Druck-Verhältnisse (Beiwert  $c_p$ ).**

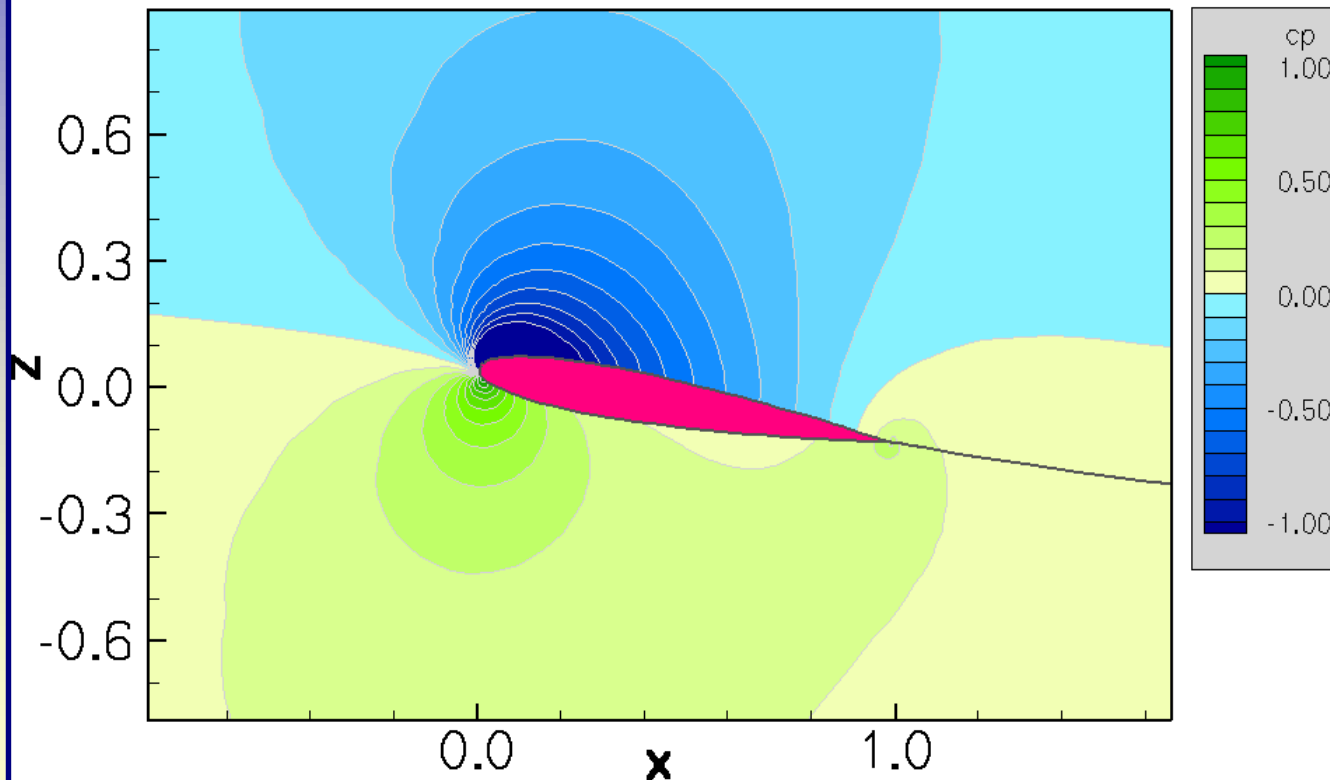
## Instationäre Aerodynamik II

**Kennzeichen: Kräfte verlaufen nicht zeitgleich mit der Bewegung  
Nach dem Stillstand baut sich der Auftrieb mit Verzögerung auf!**

- Die Idee und ihre Geschichte
- Physik I: Grundlagen
- **Exkurs: Instationäre Aerodynamik**
- Physik II: Leistungsbilanz
- Versuche im Wasserkanal 2001
- Technologiedemonstrator 2004
  - Patent und Wasserrecht
  - Wirtschaftliche Perspektive

### Profilquerschnitt NACA0012 - Drehen

Partiell lineare Kinematik:  $\alpha_0 = 10^\circ$ ,  $\omega^* = 0.15 (c/2)$  - Linearer Anteil: 2/3 der Periode



**Drehung entspricht der Kinematik des Hubflügelgenerators (schnelles Wechseln des Anstellwinkels).**

**Auch die reine Drehung benötigt -fast- immer Leistung, damit sie fortbesteht.**

**Dargestellt sind die Druck-Verhältnisse (Beiwert  $c_p$ ).**

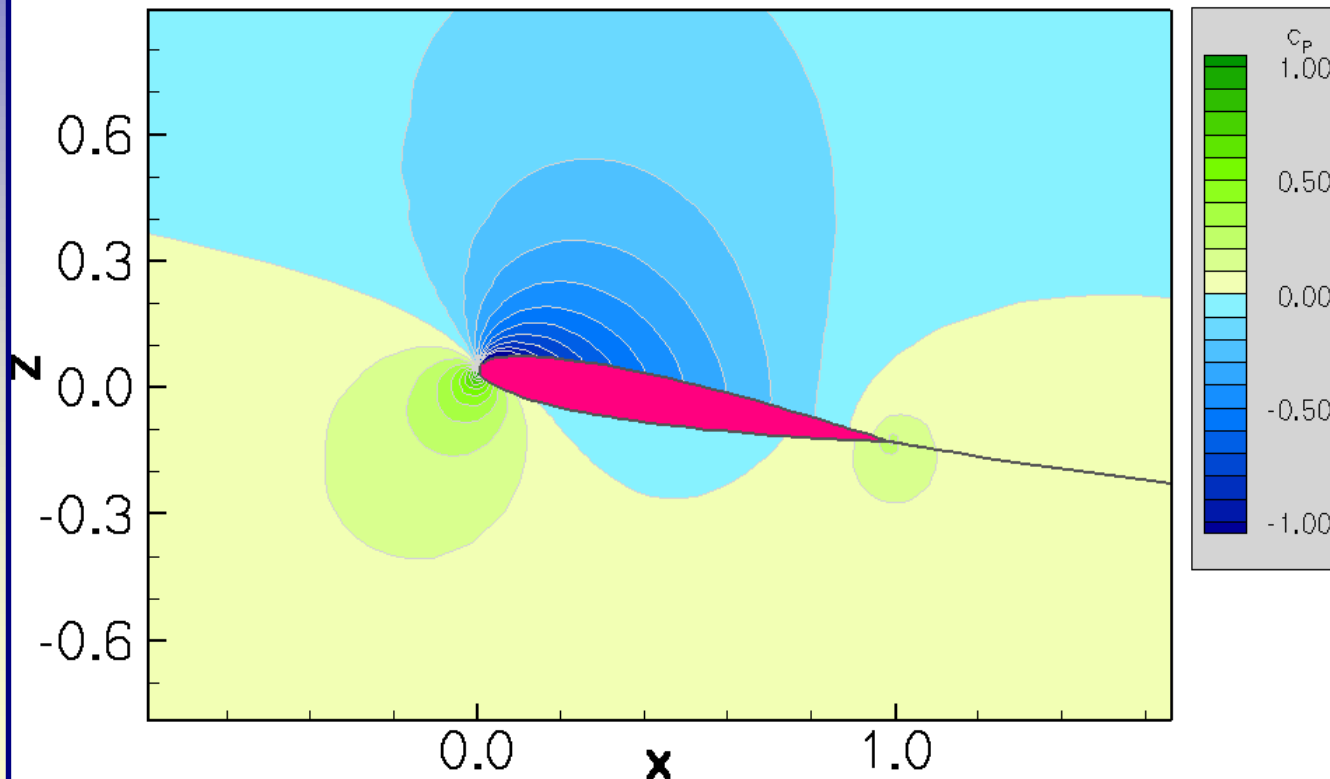
# Instationäre Aerodynamik III

## Kinematik des Hubflügelgenerators

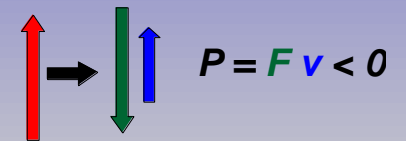
- Die Idee und ihre Geschichte
- Physik I: Grundlagen
- **Exkurs: Instationäre Aerodynamik**
- Physik II: Leistungsbilanz
- Versuche im Wasserkanal 2001
- Technologiedemonstrator 2004
  - Patent und Wasserrecht
  - Wirtschaftliche Perspektive

### Profilquerschnitt NACA0012 - Schlagen und Drehen

Partiell linear Kinematik:  $\alpha_0 = 10^\circ$ ,  $h/c = 0.4$ ,  $\omega^* = 0.15$  ( $c/2$ ) - Linear 2/3 der Periode

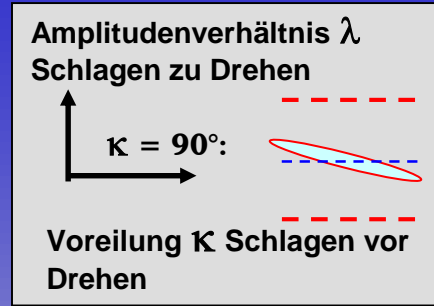
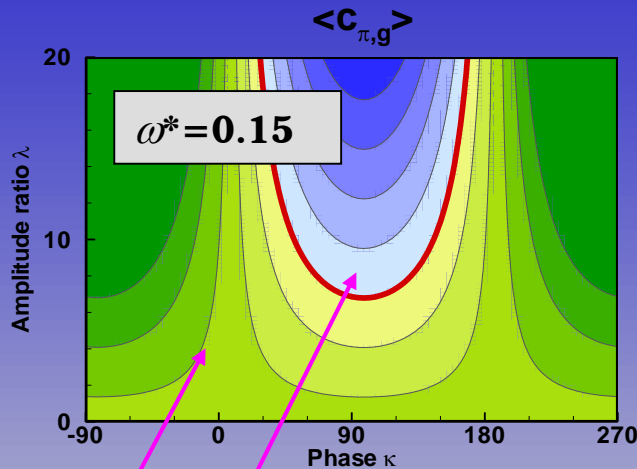
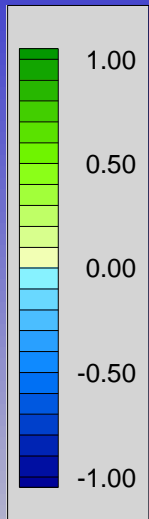


**Situation beim Aufschlag:**



**Die große Drehamplitude bewirkt Leistungsaufnahme.**

**Dargestellt sie die Druck-Verhältnisse (Beiwert  $c_p$ ).**



Leistung  $P$  muss aufgebracht werden.  
 Leistung  $P$  wird entnommen.

$$P \sim u_0^3 !$$

- Die Idee und ihre Geschichte
- Physik I: Grundlagen
- Exkurs: Instationäre Aerodynamik
- Physik II: Leistungsbilanz**
- Versuche im Wasserkanal 2001
- Technologiedemonstrator 2004
  - Patent und Wasserrecht
  - Wirtschaftliche Perspektive

- $\rho$  Dichte
- $A$  Grundrissfläche
- $\ell$  Flügeltiefe
- $f$  Frequenz
- $u_0$  Geschwindigkeit Anströmung
- $\alpha_0$  Amplitude Drehung
- $h_0$  Amplitude Schlag
- $\kappa$  Phasenvoreilung Schlag (s.o.)

$$P_x(\kappa, \lambda, \omega^*, t) = c_{\Pi,x}(\kappa, \lambda, \omega^*, t) \cdot F_0 \cdot u_0 \cdot \alpha_0^2$$

$$\langle c_{\Pi,x}(\kappa, \lambda, \omega^*) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T c_{\Pi,x}(\kappa, \lambda, \omega^*, t) \cdot dt$$

$$F_0 = q_0 \cdot A, \quad q_0 = \frac{1}{2} \rho \cdot u_0^2$$

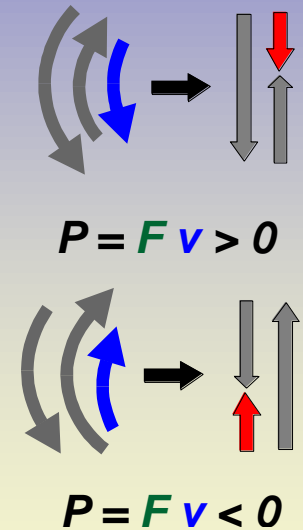
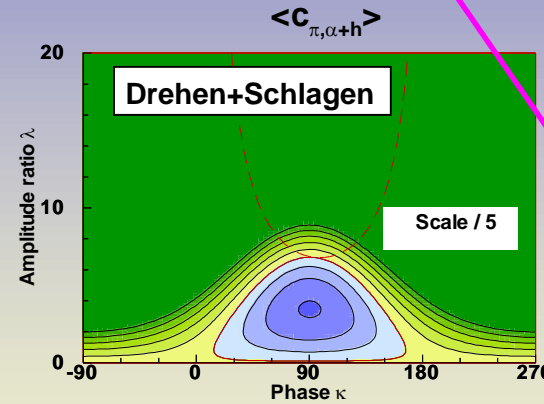
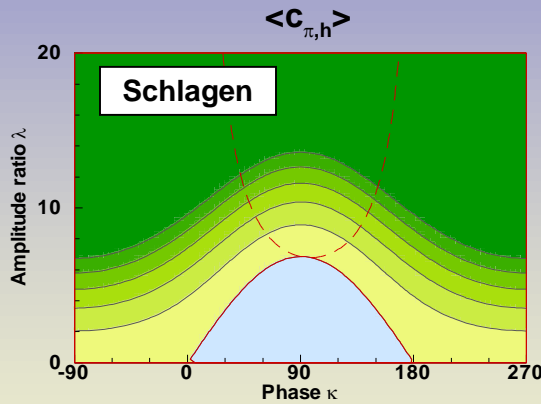
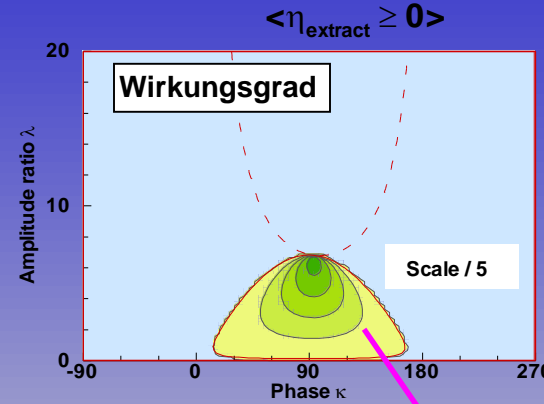
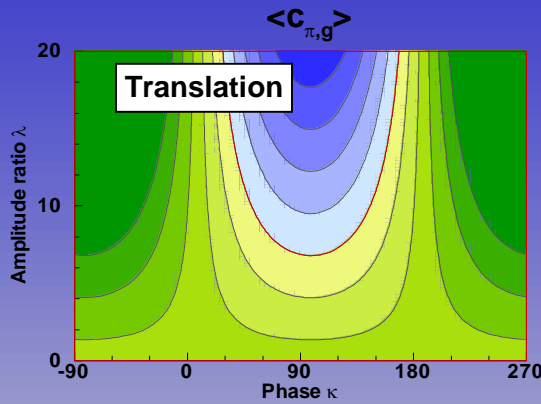
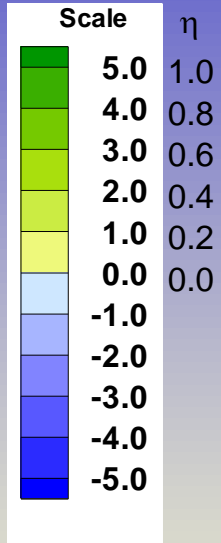
Amplitudenverhältnis  $\lambda = h_0 / (\alpha_0 \cdot \ell / 2)$

Reduzierte Frequenz  $\omega^* = \frac{2\pi f \cdot \ell / 2}{u_0}$

## Diagramme der über die Periode $T$ gemittelten Leistungsbeiwerte Drei Freiheitsgrade X: Schlagen, Drehen und Translation

- Die Idee und ihre Geschichte
- Physik I: Grundlagen
- Exkurs: Instationäre Aerodynamik
- **Physik II: Leistungsbilanz**
- Versuche im Wasserkanal 2001
- Technologiedemonstrator 2004
  - Patent und Wasserrecht
  - Wirtschaftliche Perspektive

$$\eta_{extract} = \frac{\text{power pitch + plunge}}{\text{total power extracted}}$$

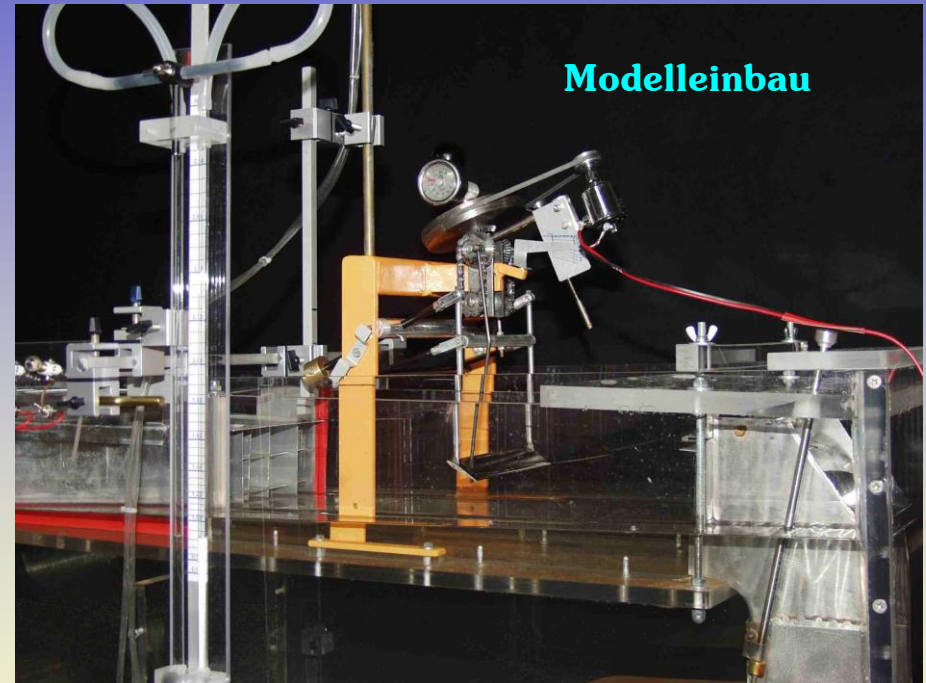


**Basic mechanism of aerodynamic flutter in 2D section**  
 Coupled pitching and plunging motion; thin plate approximation,  $\omega^* = 0.15$ ,  $\xi_p = 0.25$

## Leistungsbeiwerte beim Hubflügel Entnommene Schlagleistung - Wirkungsgrad

W. Send, *The Mean Power of Forces and Moments in Unsteady Aerodynamics*, ZAMM **72** (1992), 113-132.

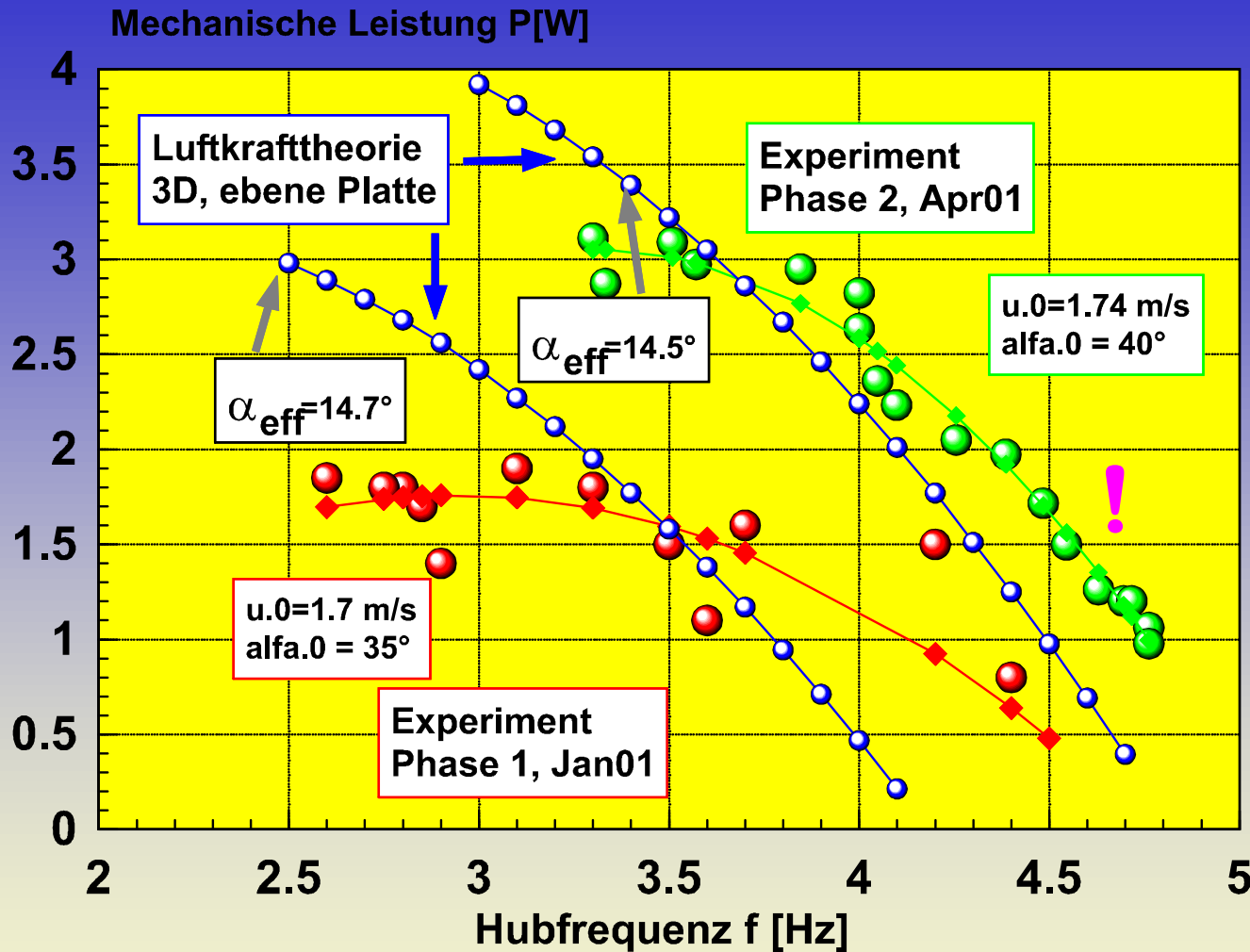
- Die Idee und ihre Geschichte
- Physik I: Grundlagen
- Exkurs: Instationäre Aerodynamik
- Physik II: Leistungsbilanz
- **Versuche im Wasserkanal 2001**
- Technologiedemonstrator 2004
  - Patent und Wasserrecht
  - Wirtschaftliche Perspektive



## Erste Laborversuche 2001 mit dem HFG1

**Antrieb, Pumpe und Stutzen: Fa. Speck – Modellbau: F. Scharstein – Kanalbau: W. Send  
 Förderleistung 3 m<sup>3</sup>/min – Antrieb 5.5 kW Drehstrom - Steuerung stufenlos Siemens COMBIMASTER  
 Messstrecke 0.2 x 0.12 m<sup>2</sup> - Anströmung bis 2 m/s**

- Die Idee und ihre Geschichte
- Physik I: Grundlagen
- Exkurs: Instationäre Aerodynamik
- Physik II: Leistungsbilanz
- **Versuche im Wasserkanal 2001**
- Technologiedemonstrator 2004
  - Patent und Wasserrecht
  - Wirtschaftliche Perspektive



**Kernfrage:**  
Funktioniert das Prinzip überhaupt vernünftig?

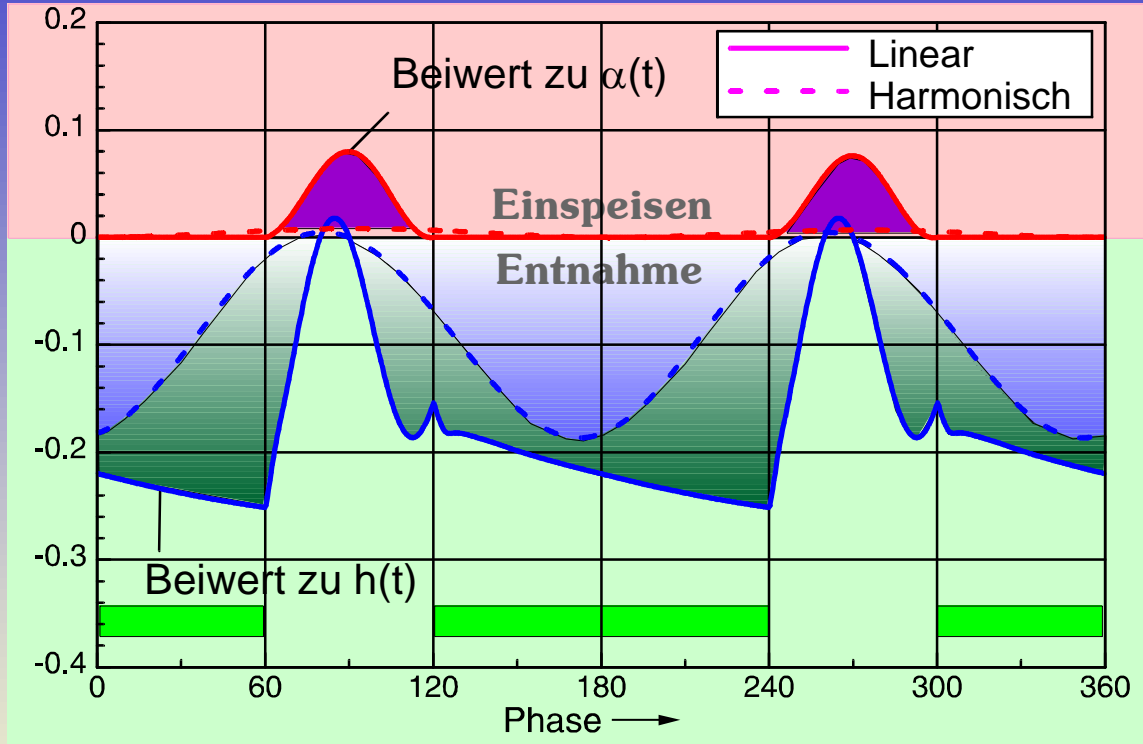
**Unbefriedigende Ergebnisse in Phase 1: Ursache ist die anfangs schlechte Strömung.**

**Abknicken der Leistung in Phase 2: Ablösen der Strömung bei etwa 12 Grad effektivem Anstellwinkel, aber sonst sehr erfolgreich.**

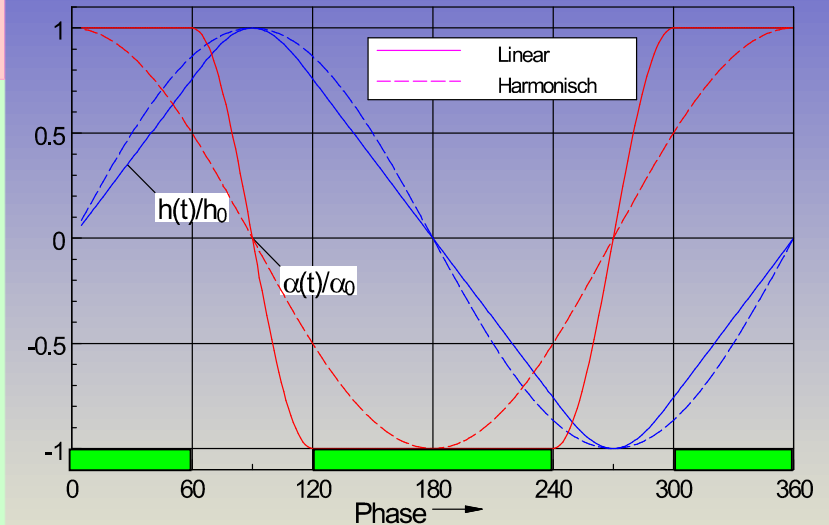
**Ergebnisse der Laborversuche 2001 mit dem HFG1**  
**Profil NACA0012 - Vergleich mit 2D Luftkrafttheorie (instationär, ebene Platte)**

- Die Idee und ihre Geschichte
- Physik I: Grundlagen
- Exkurs: Instationäre Aerodynamik
- Physik II: Leistungsbilanz
- **Versuche im Wasserkanal 2001**
- Technologiedemonstrator 2004
  - Patent und Wasserrecht
  - Wirtschaftliche Perspektive

## Leistungsbeiwerte (bezogen auf gegebene Strömung)



- Leistungsausbeute harmonisch
- Rückführung
- Erhöhte Leistungsausbeute
- Lineare Hubbewegung

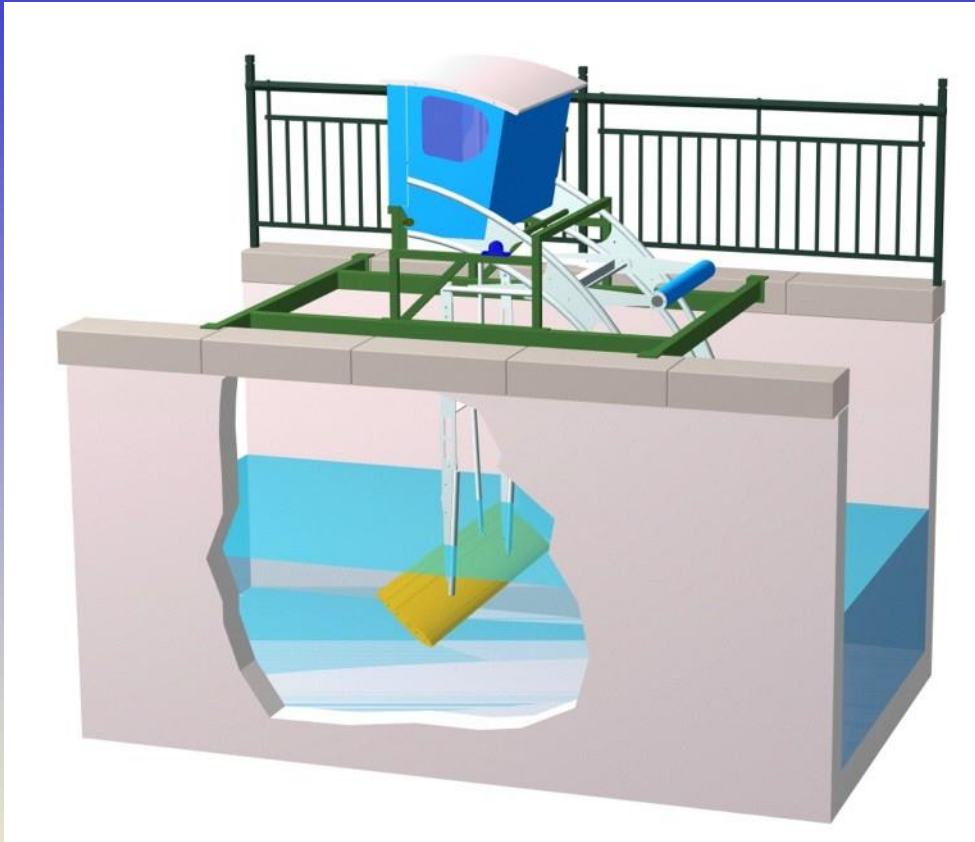


## Kinematik Schlagen und Drehen Partiell linear und harmonisch

## Wirkung der partiell linearen Kinematik Leistungsbeiwerte zu Schlagen und Drehen über eine Periode



- Die Idee und ihre Geschichte
- Physik I: Grundlagen
- Exkurs: Instationäre Aerodynamik
- Physik II: Leistungsbilanz
- Versuche im Wasserkanal 2001
- **Technologiedemonstrator 2004**
  - Patent und Wasserrecht
  - Wirtschaftliche Perspektive



**Bild rechts: Während der Leistungsmessungen am 11.09.2004; Flügel ist gerade ausgeklappt.**



**ANIPROP HFG3 – Entwurf 2003 mit CAD und Realität 2004**  
 Auslegung 1kW bei 2 m/s, Spannweite 1.9 m, Flügeltiefe 0.4 m, Hubhöhe 0.6 m

- Patentanmeldung bereits 2001 – noch nicht abgeschlossen.
- Standort Augsburg wegen der optimalen Kanäle.
- Stadt Augsburg zeigte sich sehr kooperativ – auch finanziell.
- Wasserrechtliche Genehmigung war erforderlich – aufwendig!
- Projekt muss versichert sein – relativ preiswert.
- Kein Grobrechnen vor dem Flügel: Problem der Entsorgung!
- Anwohner überwiegend sehr positiv eingestellt.
- Nach zwei Schäden durch Treibgut einstweilen nur überwachter Betrieb - Problem der Betreuung.

- Die Idee und ihre Geschichte
- Physik I: Grundlagen
- Exkurs: Instationäre Aerodynamik
- Physik II: Leistungsbilanz
- Versuche im Wasserkanal 2001
- **Technologiedemonstrator 2004**
  - Patent und Wasserrecht
  - Wirtschaftliche Perspektive

Hubflügelgenerator HFG3  
Einbau 2004

Eine Vision wird wahr

Kurzfilm zur Entstehung  
und vom Einbau (7.5 min)

### Geschätzte Gesamtkosten für 2 Jahre Projektzeit \*):

Materialkosten der Herstellung des HFG3	16.000 EUR
Patent- und Gebrauchsmustergebühren, Versicherungen etc.	2.000 EUR
Arbeitskosten der Herstellung	12.000 EUR
Fundament, Anschlusskosten für Strom und Datenleitung	12.000 EUR
Reise- und Transportkosten	6.500 EUR
Betreuung und Auswertung, Dokumentation	<u>6.000 EUR</u>
	<b><u>54.500 EUR</u></b>

\*) Laut Förderantrag an die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) von 2002 – war leider erfolglos.

## Technologiedemonstrator ANIPROP HFG3



## Auszug aus elektronischem Entwurfsblatt:

### Resultate (klassische Theorie ohne Umformverluste)

Resultate (klassische Theorie ohne Umformverluste)			Versuchsdaten mit LinA	
Leistungsausbeute 2D aus Hubfläche	-290.34	W	-243.89	W
Flächenleistung (überdeckte Hubfläche)	259.5	W/m <sup>2</sup>	218.0	W/m <sup>2</sup>
Aerodyn. Wirkungsgrad, U1/U0	60.48	%	94.28	%
Anteil am Leistungsinhalt des Fluids	17.74	%	17.63	%
Energieertrag pro Jahr	2,543.4	kWh	2,136.4	kWh
Preis kWh, Jahresertrag	0.08	EUR/kWh	160	EUR

### Kanaldaten und Geometrie

		Einheit		Einheit
Abflussmenge Q, Kanalbreite B	2.50	m <sup>3</sup> /s	2.00	m
Geschwindigkeit	1.6	m/s	5.76	km/h
Faktoren Kanalabmessungen, $f_B, f_H$	1.05	-	1.33	-
Spannweite b, Kanalhöhe H	1.90	m	0.78	m
Drehachse $x_D/\ell$ , Seitenverhältnis $\Delta$	0.25	-	4.80	-
Flügelfläche $A=b*\ell$ , Flügeltiefe $\ell$	0.7559	m <sup>2</sup>	0.397	m
Wirkquerschnitt $S=b*h$ , Hubhöhe h	1.1189	m <sup>2</sup>	0.59	m
Schlagamplitude $h_0/\ell$ , Angabe in m	0.740	-	0.294	m

### Kinematische Daten

Reduzierte Frequenz $\omega^*$ , bezogen auf $\ell$	0.334	-	0.668	-
Hubfrequenz f, Phasenvoreilung $\kappa$	0.429	Hz	90	deg
Zugelassener effektiver Anstellwinkel	14.00	deg	1.571	kappa
Geometrischer Anstellwinkel $\alpha_0$	40.3	deg		

- Die Idee und ihre Geschichte
- Physik I: Grundlagen
- Exkurs: Instationäre Aerodynamik
- Physik II: Leistungsbilanz
- Versuche im Wasserkanal 2001
- **Technologiedemonstrator 2004**
  - Patent und Wasserrecht
  - **Wirtschaftliche Perspektive**

**243 W abgegebene Leistung - Warum so wenig?**

**Anstellwinkel nicht voll ausgenutzt (noch Probleme (mit Eigenschwingungen)).**

**Weiteres Problem bei den Versuchen: Amtliche Unterlagen zur Geschwindigkeit und Wassermenge stimmten nicht mehr:**

**Wassermenge geringer wegen Geräuschbelastung!**

$$(1.6/2.0)**3 = 0.512$$

## Erste Messungen am HFG3 - A: Prognose

Results for dataset:	Freq [Hz]	omred [-]	Alfa.0 [deg]	P=_el [W]	cp_h_el [-]	P_fluid [W]	eta [%]	lambda [-]
hfg3_DiffK1K7_M42.dat	0.459	0.360	31.0	126.	0.276	2.330E+03	5.39	2.77
hfg3_DiffK1K7_M43.dat	0.435	0.341	31.0	139.	0.306	2.330E+03	5.97	2.77
hfg3_DiffK1K7_M44.dat	0.431	0.339	31.0	142.	0.313	2.330E+03	6.10	2.77
hfg3_DiffK1K7_M45.dat	0.412	0.323	31.0	153.	0.337	2.330E+03	6.57	2.77
hfg3_DiffK1K7_M46.dat	0.385	0.302	31.0	154.	0.339	2.330E+03	6.61	2.77
hfg3_DiffK1K7_M47.dat	0.379	0.297	31.0	156.	0.343	2.330E+03	6.70	2.77
hfg3_DiffK1K7_M50.dat	0.321	0.252	34.5	172.	0.306	2.330E+03	7.40	2.49
hfg3_DiffK1K7_M52.dat	0.476	0.374	34.5	147.	0.260	2.330E+03	6.29	2.49
hfg3_DiffK1K7_M53.dat	0.476	0.374	34.5	164.	0.291	2.330E+03	7.02	2.49
hfg3_DiffK1K7_M54.dat	0.474	0.372	34.5	171.	0.304	2.330E+03	7.34	2.49
hfg3_DiffK1K7_M55.dat	0.450	0.354	34.5	183.	0.324	2.330E+03	7.83	2.49
hfg3_DiffK1K7_M56.dat	0.426	0.334	34.5	187.	0.332	2.330E+03	8.03	2.49
hfg3_DiffK1K7_M57.dat	0.413	0.325	34.5	190.	0.338	2.330E+03	8.17	2.49
hfg3_DiffK1K7_M58.dat	0.383	0.301	34.5	191.	0.339	2.330E+03	8.20	2.49
hfg3_DiffK1K7_M59.dat	0.364	0.286	34.5	192.	0.341	2.330E+03	8.24	2.49
hfg3_DiffK1K7_M60.dat	0.333	0.262	36.0	183.	0.298	2.330E+03	7.84	2.39
<b>hfg3_DiffK1K7_M66.dat</b>	<b>0.435</b>	<b>0.341</b>	<b>36.0</b>	<b>200.</b>	<b>0.326</b>	<b>2.330E+03</b>	<b>8.58</b>	<b>2.39</b>
<b>hfg3_DiffK1K7_M67.dat</b>	<b>0.431</b>	<b>0.339</b>	<b>36.0</b>	<b>202.</b>	<b>0.329</b>	<b>2.330E+03</b>	<b>8.65</b>	<b>2.39</b>
<b>hfg3_DiffK1K7_M68.dat</b>	<b>0.400</b>	<b>0.314</b>	<b>36.0</b>	<b>209.</b>	<b>0.341</b>	<b>2.330E+03</b>	<b>8.97</b>	<b>2.39</b>
hfg3_DiffK1K7_M69.dat	0.372	0.292	36.0	180.	0.293	2.330E+03	7.71	2.39

- Die Idee und ihre Geschichte
- Physik I: Grundlagen
- Exkurs: Instationäre Aerodynamik
- Physik II: Leistungsbilanz
- Versuche im Wasserkanal 2001
- **Technologiedemonstrator 2004**
  - Patent und Wasserrecht
  - **Wirtschaftliche Perspektive**

**Die Prognose war: 243 Watt  
beim Anstellwinkel 40 Grad.**

$$(40/36)**2 = 1.23$$

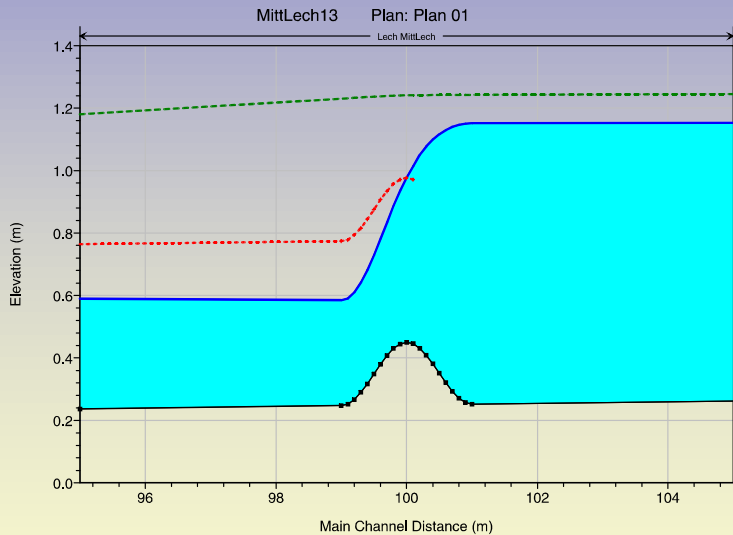
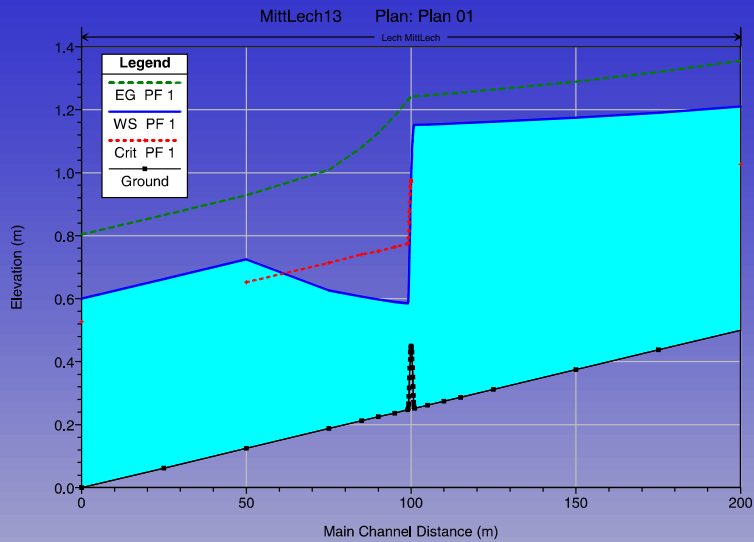
$$200 \text{ W} * 1.23 = 246 \text{ W}$$

**(Das ist aber eher Zufall !!!)**

**Fazit: Wissenschaftlich schon ein höchst interessantes,  
wirtschaftlich aber doch eher mageres Ergebnis! --- ?**

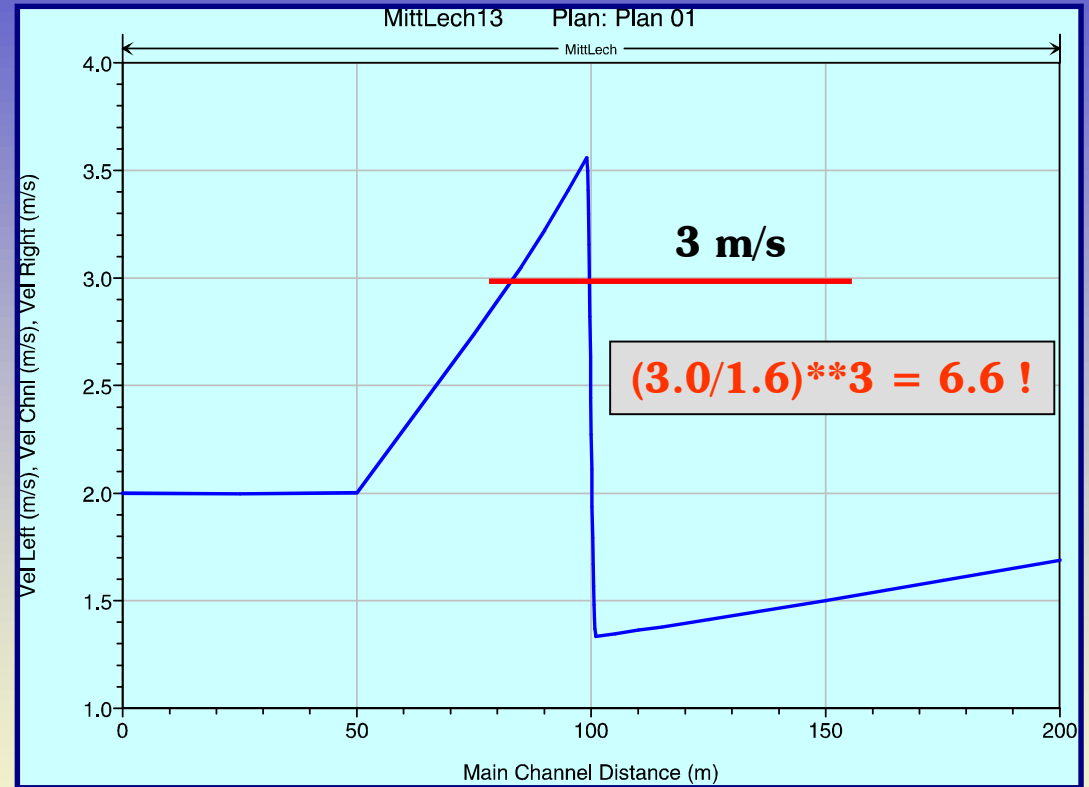
**Aber wir haben noch eine Trumpfkarte im Ärmel: Die Sohlschwelle!**

**Erste Messungen am HFG3 - B: Ergebnisse**



## Sohlschwelle: 2m lang, 0.2m hoch

- Die Idee und ihre Geschichte
- Physik I: Grundlagen
- Exkurs: Instationäre Aerodynamik
- Physik II: Leistungsbilanz
- Versuche im Wasserkanal 2001
- **Technologiedemonstrator 2004**
  - Patent und Wasserrecht
  - **Wirtschaftliche Perspektive**

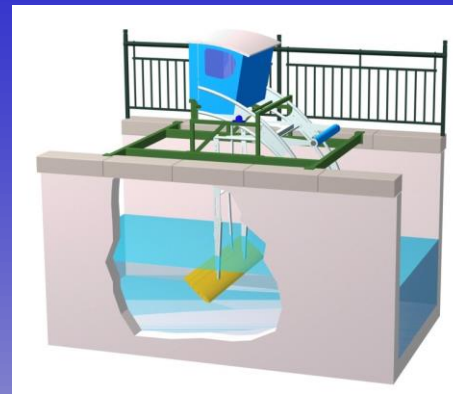


**Unsere Trumpfkarte: Die Sohlschwelle! -**

**Ob die Karte sticht, muss sich zeigen ...**



**ANIPROP**



- Die Idee und ihre Geschichte
- Physik I: Grundlagen
- Exkurs: Instationäre Aerodynamik
- Physik II: Leistungsbilanz
- Versuche im Wasserkanal 2001
- **Technologiedemonstrator 2004**
  - Patent und Wasserrecht
  - **Wirtschaftliche Perspektive**



**Wie auf den Markt? - Wollen nicht einige Gemeinden ihre Kanäle ökologisch wertvoll beleuchten?**