



Höhlerntauchausbildung mit Swiss Cave Diving / CMAS



Vortrag Beat Müller, 4. Int. Speleo-Kongress, St.Nazaire, 1.6.2008

# SCOOTER im TEC- & Overhead Diving Bereich (Technische Aspekte)

Beat Müller  
Ressortleiter Cave Diving  
cmas.ch

Diese Präsentation ist Teil der Unterrichtshilfsmittel von  
Swiss Cave Diving und urheberrechtlich geschützt.



# Scooter im TEC- & Overhead Diving Bereich

## Inhalt

- Einige Begriffsdefinitionen
- Why Scooters ? Präsentation CMAS International Dublin
- Geschichtlicher Rückblick
- Ausbildungssystem & Grundsatzregeln der CMAS
- Scooter – Typen
- Leistungsdaten – Uebersicht
- Aufbau eines Scooters & Baugruppen
- Betriebsverhalten des Scooters
- Vergurtung & Zuggleine
- Die Haltung/Position des Tauchers
- TG-Planung & Gas-Management
- Antrieb & Hydrodynamik
- Messungen (Geschwindigkeiten und Gasverbrauch)
- Störfälle & Massnahmen
- Praxiserfahrungen

PAUSE 1

PAUSE 2



Höhlintauchausbildung mit Swiss Cave Diving / CMAS

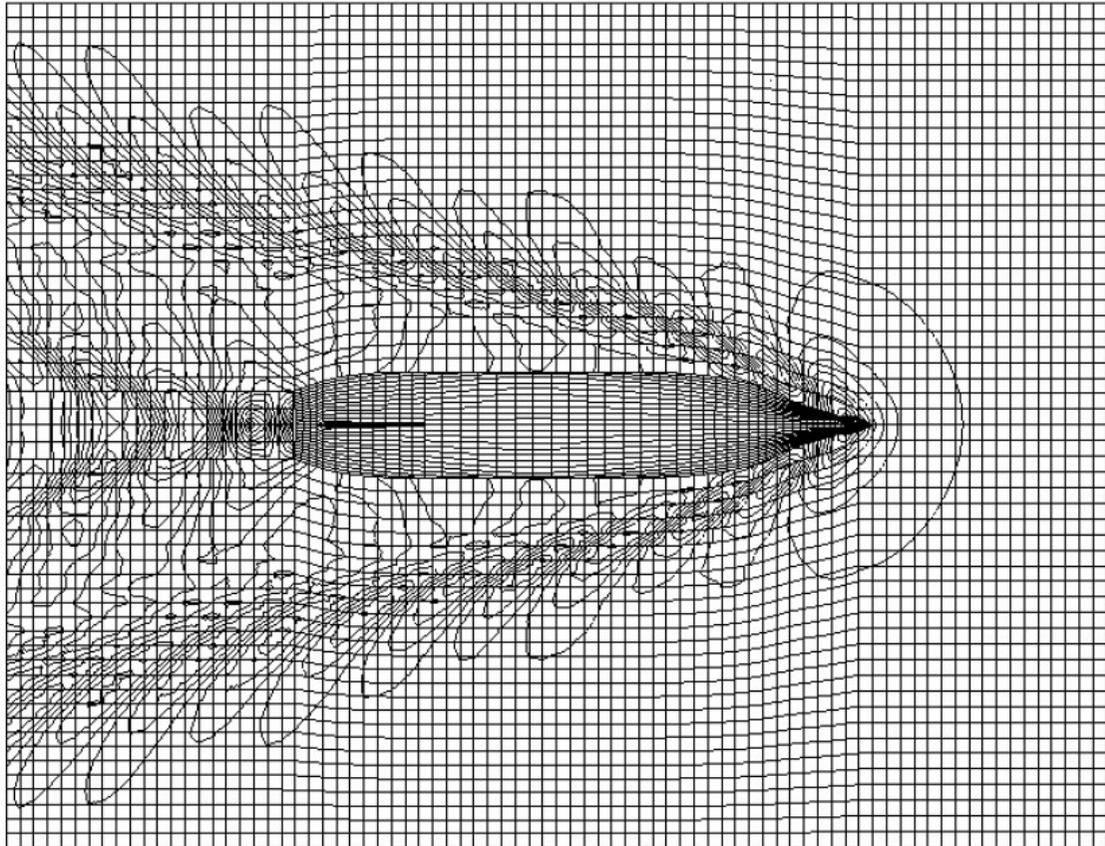
Vortrag Beat Müller, 4. Int. Speleo-Kongress, St.Nazaire, 1.6.2008



# Antrieb & Hydrodynamik



## Wellenfronten eines eingetauchten bewegten Körpers



**Druckwelle am Bug**

**seitliche Wirbel-  
schleppe vom Bug  
her**

**seitlich eher lami-  
nare Strömung da  
glatte Oberfläche**

**Heckwirbel**

(Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam)



## Leistung und Wirkungsgrad (vereinfacht)

aus Fachliteratur

Leistungsangabe

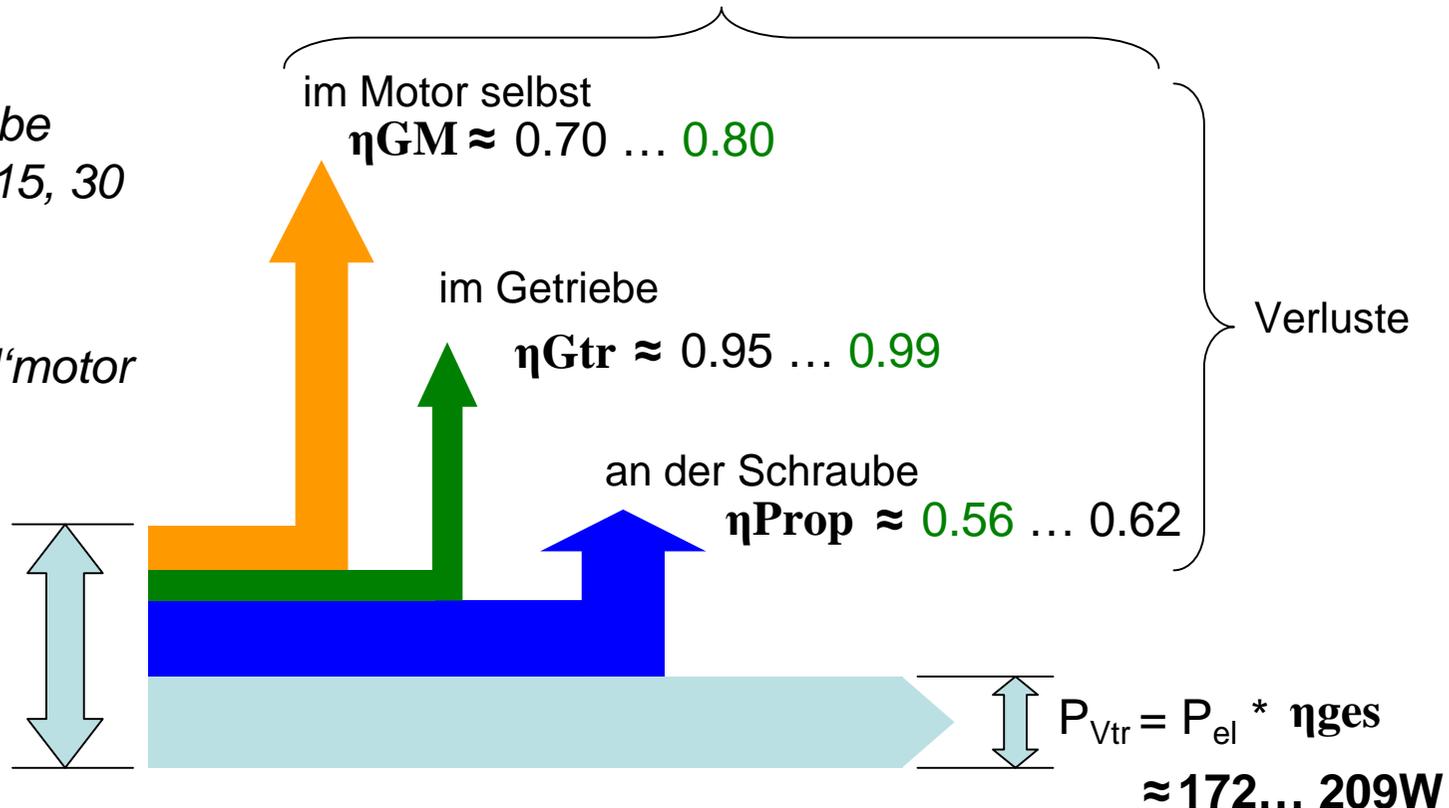
$P_{el}$ : Suex ADV15, 30

$V \approx 26 V$

$I \approx 17 A$

Gleichstrom-El'motor  
mit Bürsten

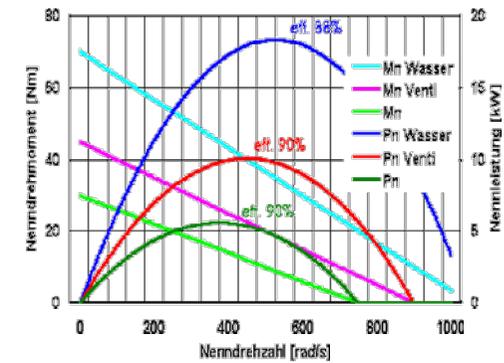
$P_{el} = U * I \approx$   
**430 ... 450W**



Gesamtwirkungsgrad  $\eta_{ges} = \eta_{GM} * \eta_{Gtr} * \eta_{Prop}$   
 $= 0.399 \dots 0.465$  **(0.441)**

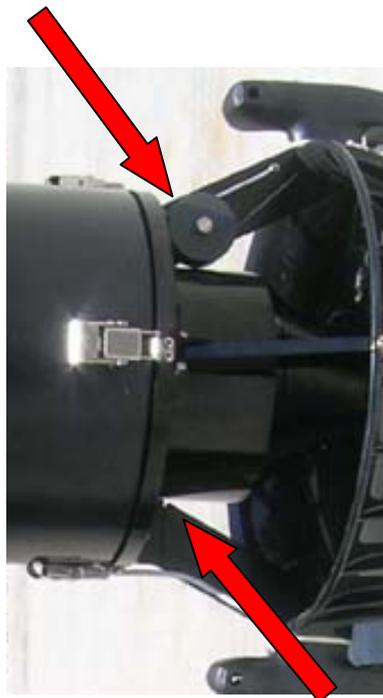
## Verluste bei Elektro- und Propellerantrieben

- Elektromotor**
- Statorkupferverluste (Magnetisierung)
  - Eisenverluste (Wirbelstrom, Ummagnetisierung)
  - Rotorkupferverluste
  - Zusatzverluste (Kühlung, Reibung, Ventilator, Strömung, Oberwellen)
  - Betrieb bei nicht optimaler Drehzahl

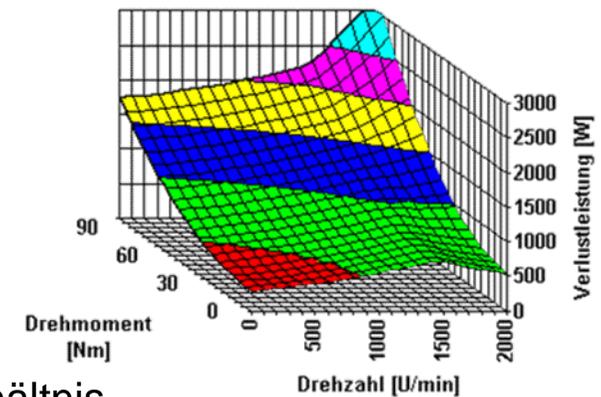


- Getriebe**
- Reibung an Zahnrädern
  - Lagerreibung

- Propeller**
- Schlupf
  - nicht wirbelfreie Anströmung
  - Kavitation
  - Betrieb bei nicht optimaler Drehzahl
  - Flügelzahl, Flächenverhältnis
  - Steigung-/Durchmesserverhältnis
  - Belastungsgrad

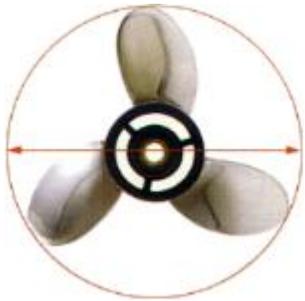


Querschnittssprung am Gehäuse





## Propeller-Kenngrößen



Propeller-Durchmesser

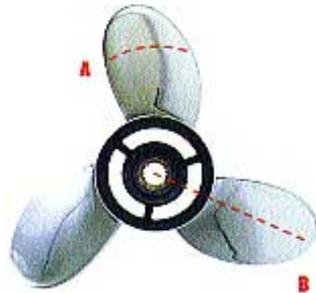
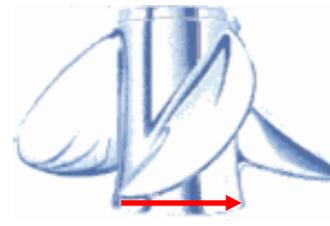
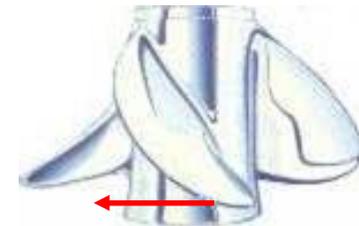


Figure 4-4  
A. Propeller pitch line  
B. Propeller rake line



rechtsdrehend



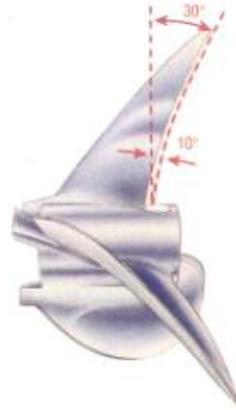
linksdrehend



Neigung (rake):  
Null

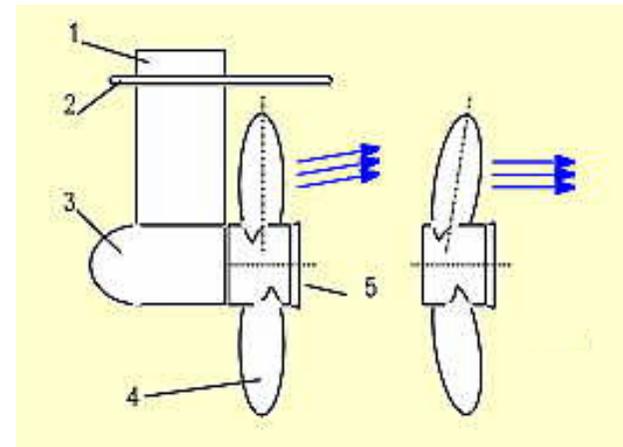


linear



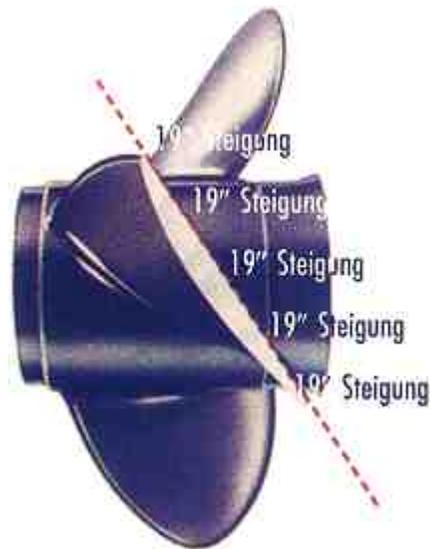
progressiv

### Effekt der Neigung (rake)

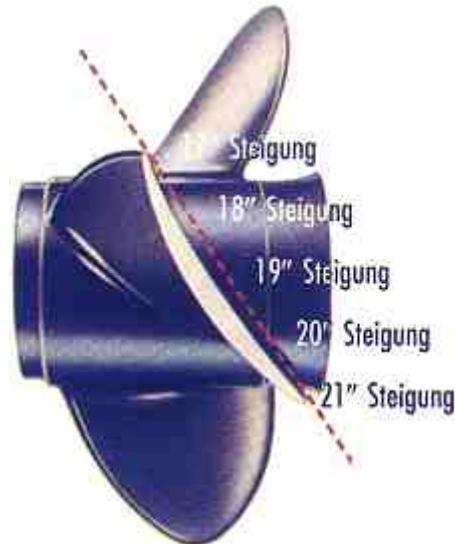


## Propeller-Kenngrössen

### Steigung (pitch)

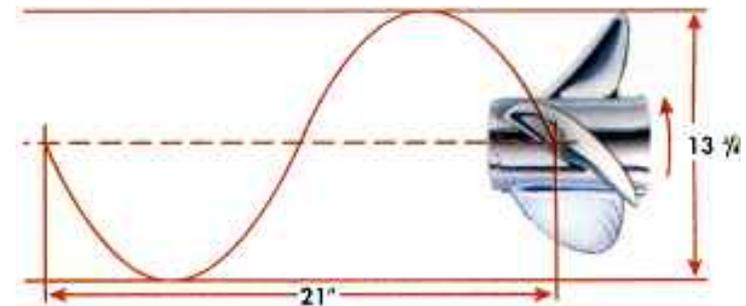


lineare Steigung (pitch)  
(konstant)

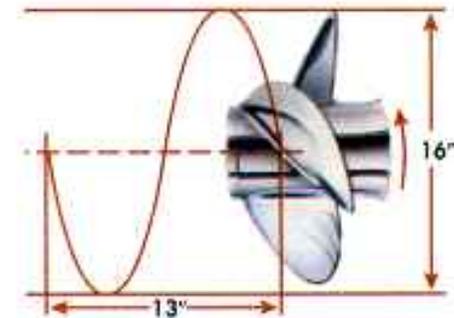


progressive Steigung  
(pitch)

### Effekt der Steigung



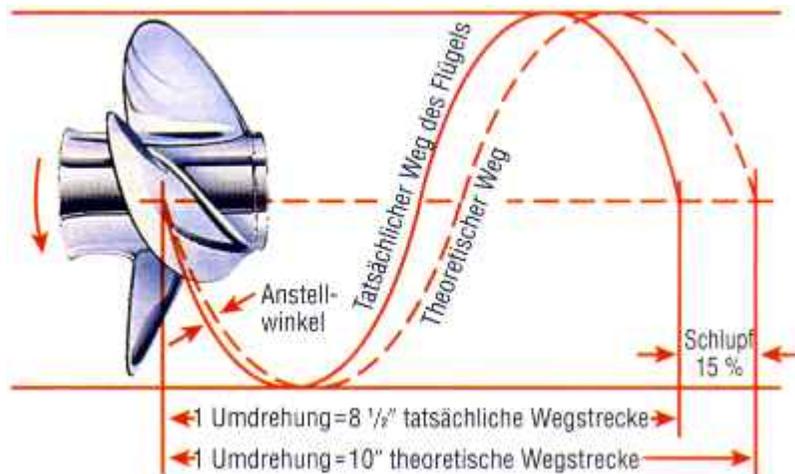
Propellersteigung



Achtung: zu unterscheiden sind Steigung (pitch), geometr. Anstellwinkel (blade angle) und dynamischer Anstellwinkel (angle of attack)

## Propeller-Kenngrössen

### Schlupf (slip)

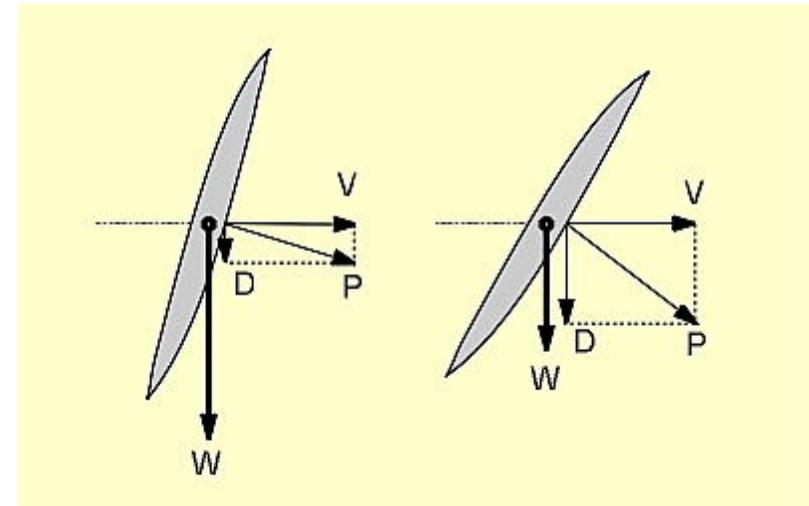


Schlupf = Unterschied zw. theoret. und effektiv zurückgelegter Strecke bei 1 Umdrehung. Der Schlupf kann von 15% bis 40% betragen.

Bei gleichem Vortrieb  $V$  muss ein Propeller mit kleinerer Steigung einen grösseren Drehwinkel  $W$  zurücklegen, also schneller drehen.

Wegen Massenträgheit des Wassers sinkt aber der Drall bei höheren Geschw. und Drehzahlen wieder.

### Blatt-Anstellwinkel (blade angle)



$V$  = resultierender Vortrieb

$D$  = Drall (=verlorene Energie)

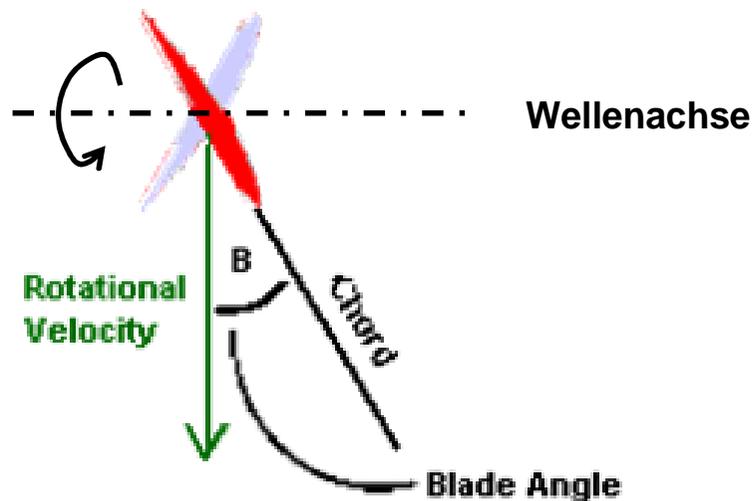
$P$  = Kraft auf Wasser

$W$  = Drehwinkel

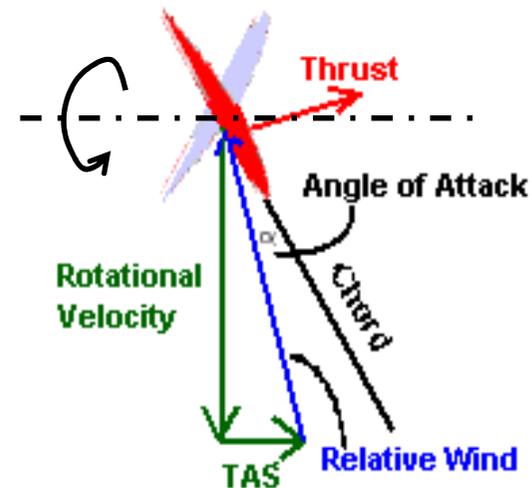


## Blattanstellwinkel

### Propeller Blade Angle



### Angle of Attack in Flight



TAS = true air speed

Im Stillstand sind der geometrische (blade angle) und der dynamische Blattanstellwinkel (angle of attack) identisch. Mit zunehmender Geschwindigkeit gegenüber dem umgebenden Medium wird der dynamische Anstellwinkel immer kleiner, damit wird die Umlenkung des Mediums kleiner, der Vortrieb (thrust) sinkt.

## Auf- und Vortrieb und Drag



Figure 4-22  
Wing with no angle attack

angle of attack = 0 à kein  
Auftrieb/kein Vortrieb

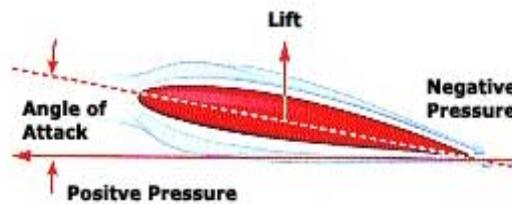
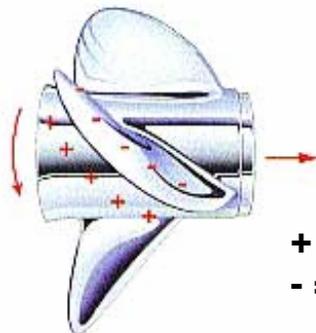
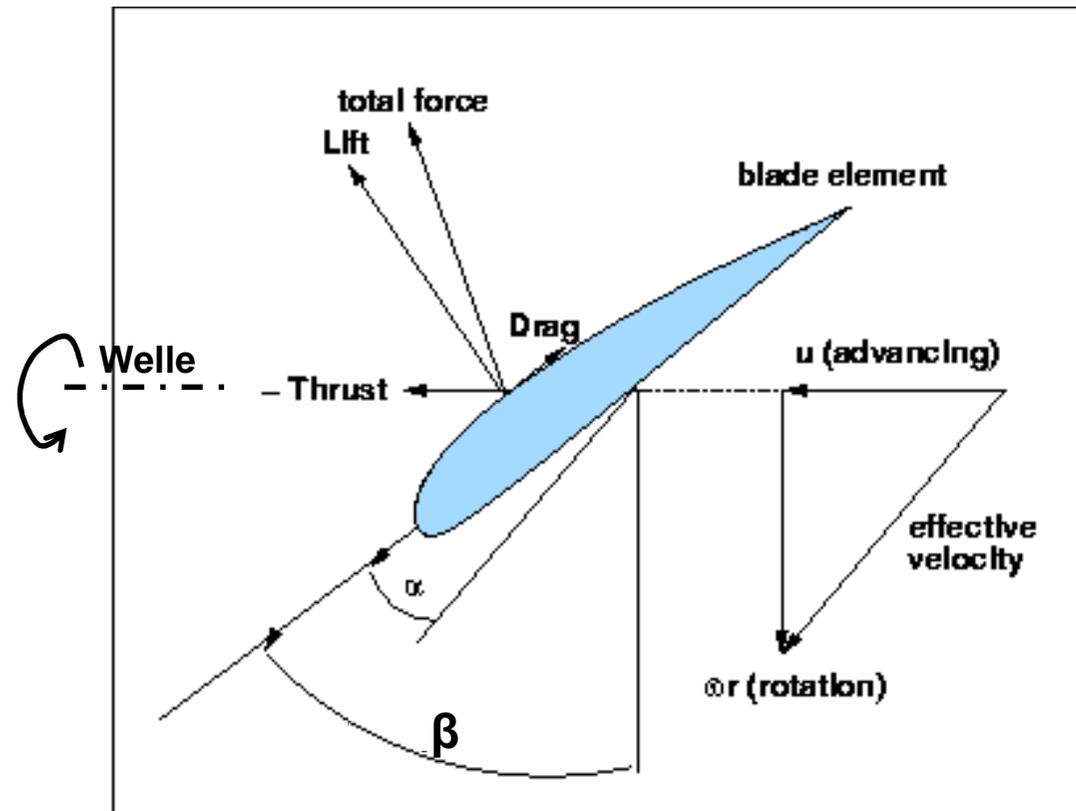


Figure 4-24  
Wing with angle of attack



+ = Ueberdruck  
- = Unterdruck

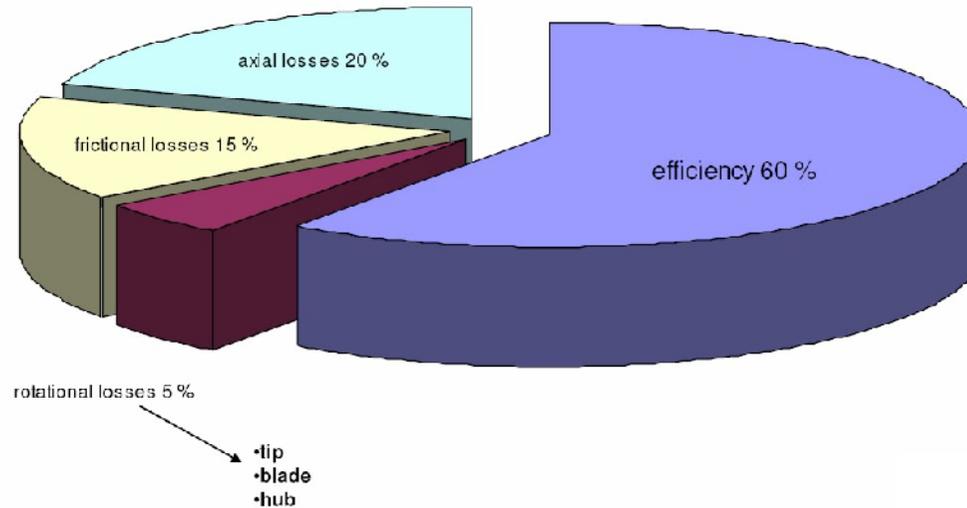
Figure 3-1  
"Push-pull" concept



$\alpha$  = dynamischer Blattstellwinkel  
 $\beta$  = geometrischer Blattstellwinkel



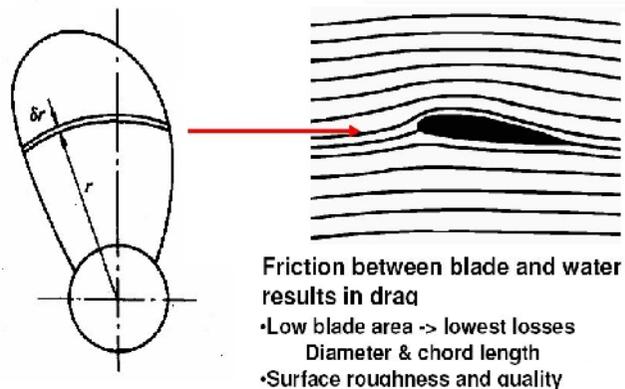
## Propeller-Verluste summarisch



axiale Verluste:



Reibungsverluste:

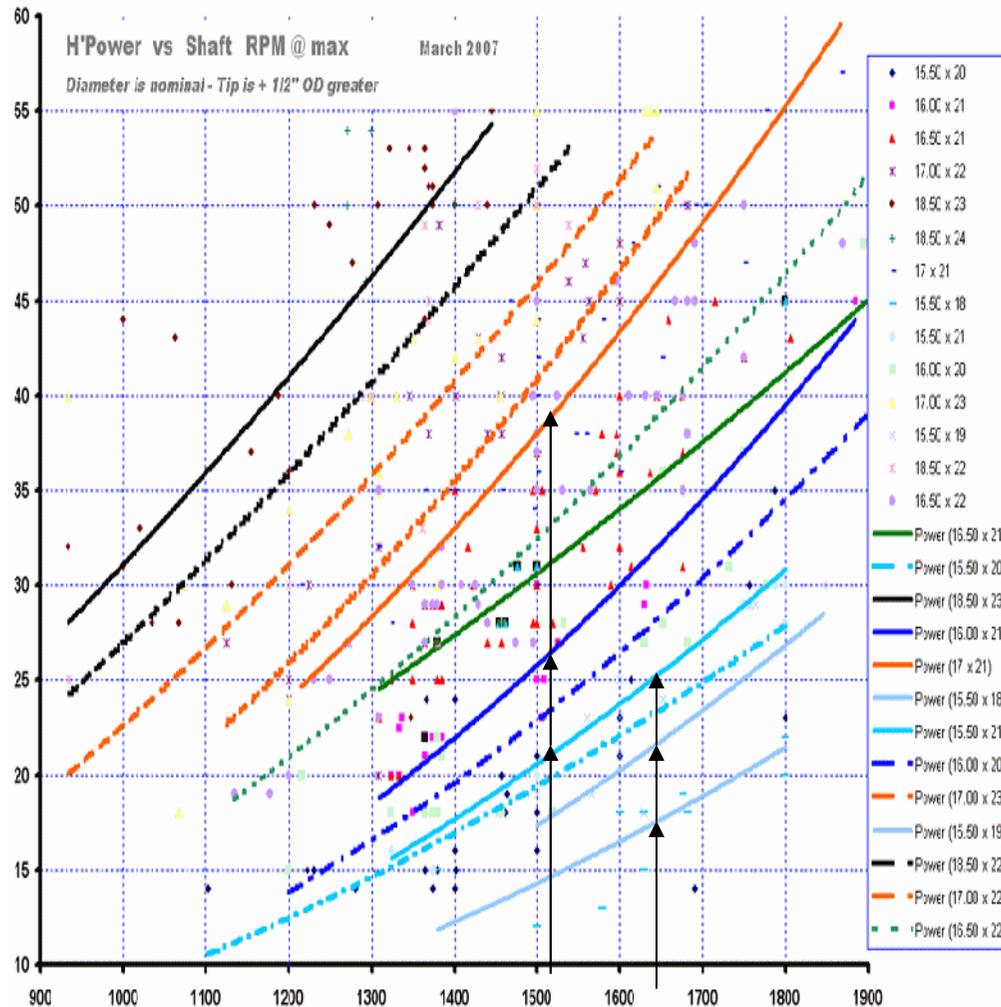


Rotationsverluste:



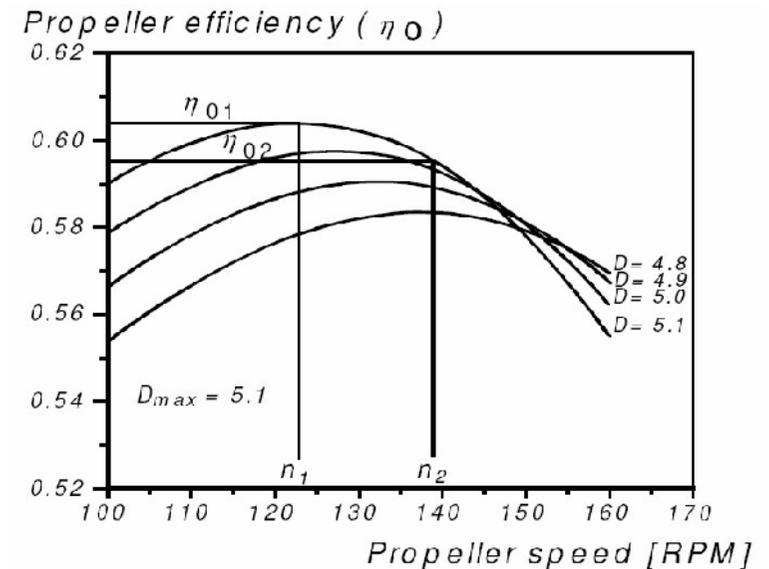


## Einfluss des Durchmessers und der Steigung (pitch)



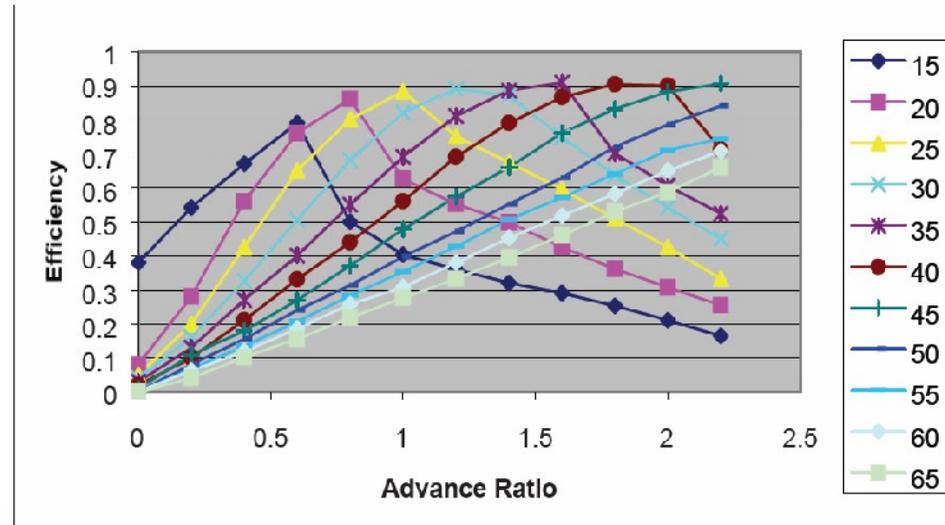
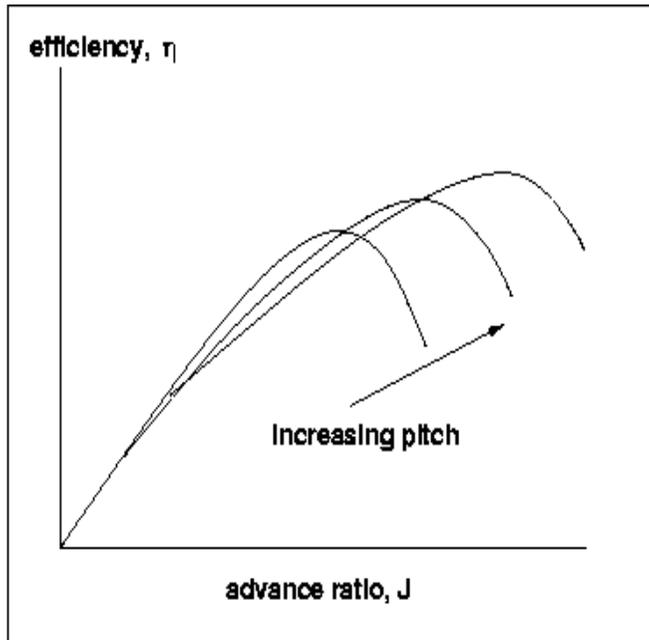
**grössere Steigung bei gleichem Durchmesser:** grösserer Leistungsbedarf bei gleicher Drehzahl, geringerer max. Wirkungsgrad bei höherer Drehzahl

**grösserer Durchmesser bei gleicher Steigung:** grösserer Leistungsbedarf bei gleicher Drehzahl, grösserer max. Wirkungsgrad bei tieferer Drehzahl

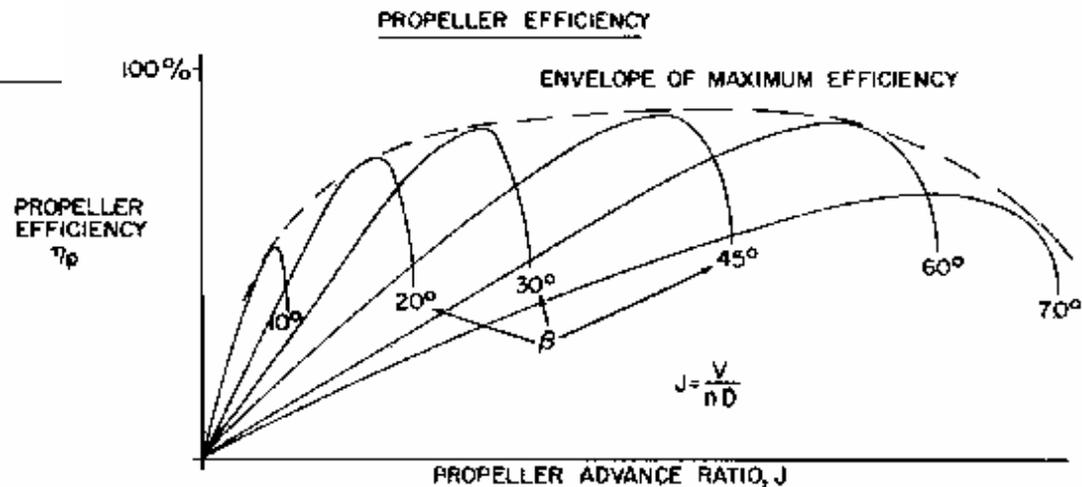




## Einfluss der Steigung



Advance Ratio  $J = \frac{V}{nD}$



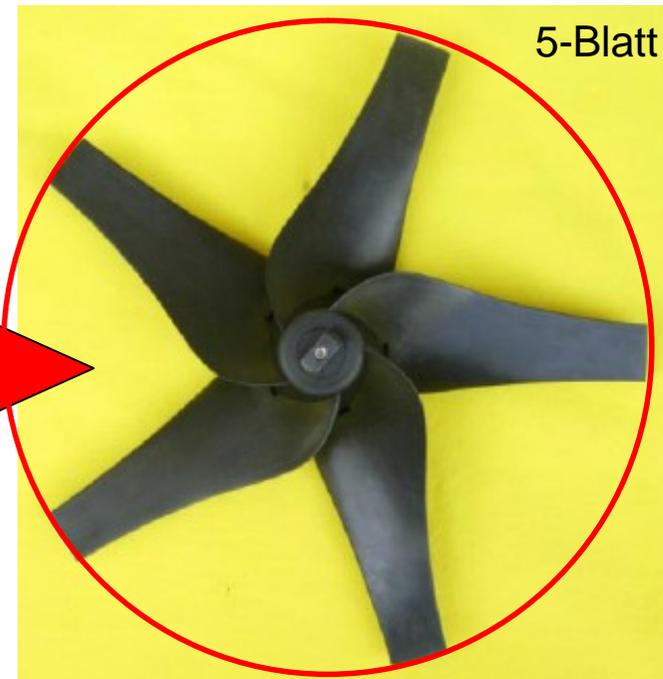


## Einfluss der Blattzahl

**Flächenabdeckungsgrad:** Projektion der totalen Blattfläche / Kreisfläche des Propellerkreises.



Flächenabdeckungsgrad kleiner  
max. möglicher Wirkungsgrad höher  
Wirkungsgrad bei höheren  $n$  kleiner



Flächenabdeckungsgrad grösser  
max. Vortrieb grösser als mit 3-Blatt  
grössere Reibungsverluste  
max. möglicher Wirkungsgrad tiefer  
Durchmesser kann kleiner gehalten werden



## Verluste beim Propeller (Drag)

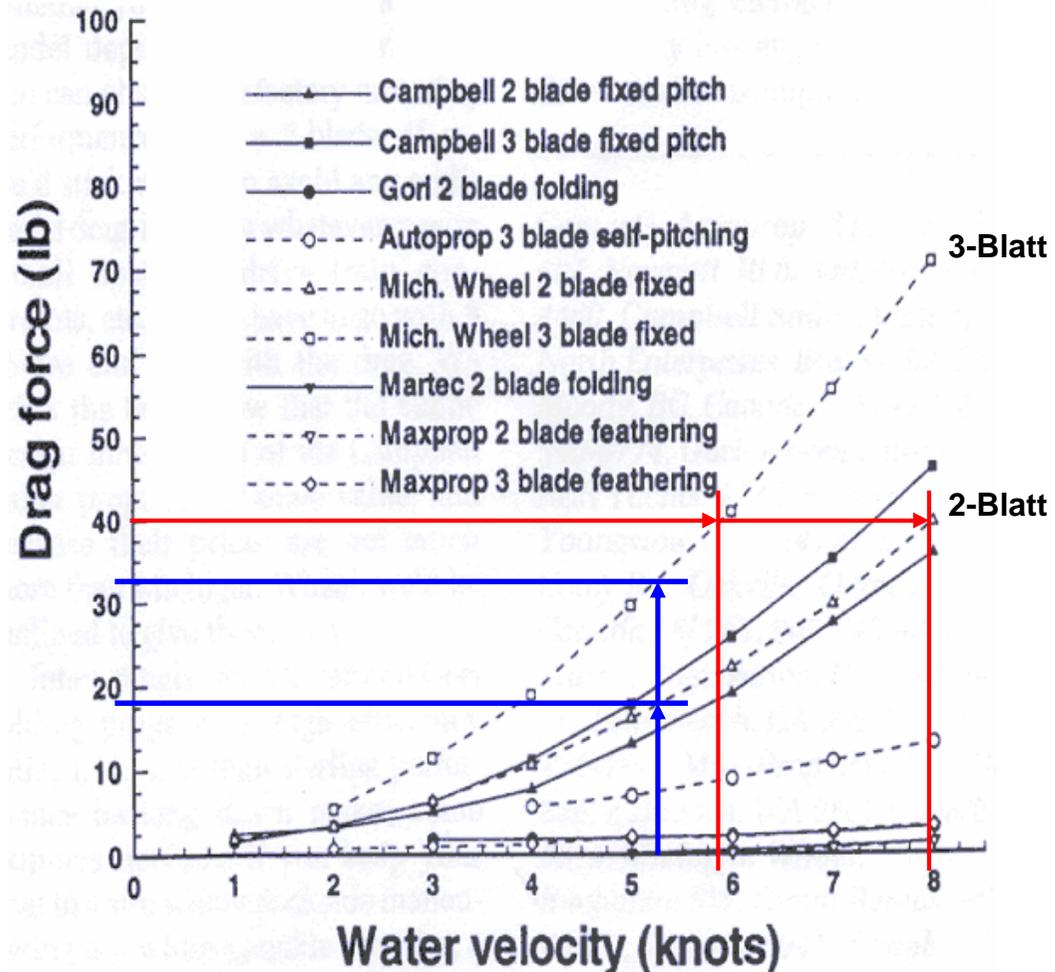
### Unterschied 2- und 3-Blatt-Propeller

Flächenabdeckungsgrad beim 3-Blattpropeller ist grösser, aber Drag auch und der maximal mögliche Wirkungsgrad ist deshalb kleiner

3-Blatt Propeller hat bei gleicher Drehzahl einen grösseren Drag als der 2-Blatt Prop.

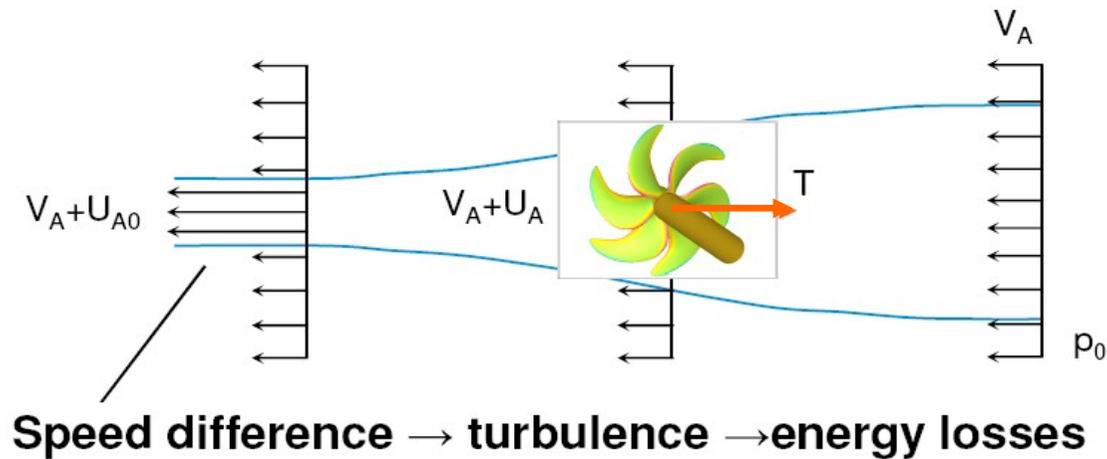
Der 2-Blatt kann deshalb schneller drehen, bis er auf denselben Drag kommt.

Comparison of drag forces





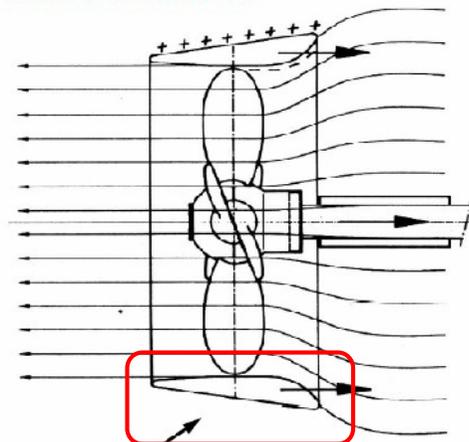
## Propeller mit Leitrad (duct/shroud)





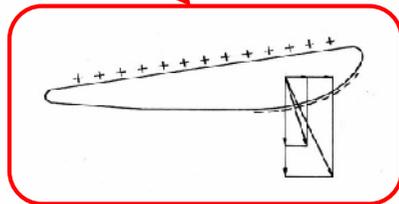
## Propeller mit Leitrad (duct/shroud)

Pressure difference

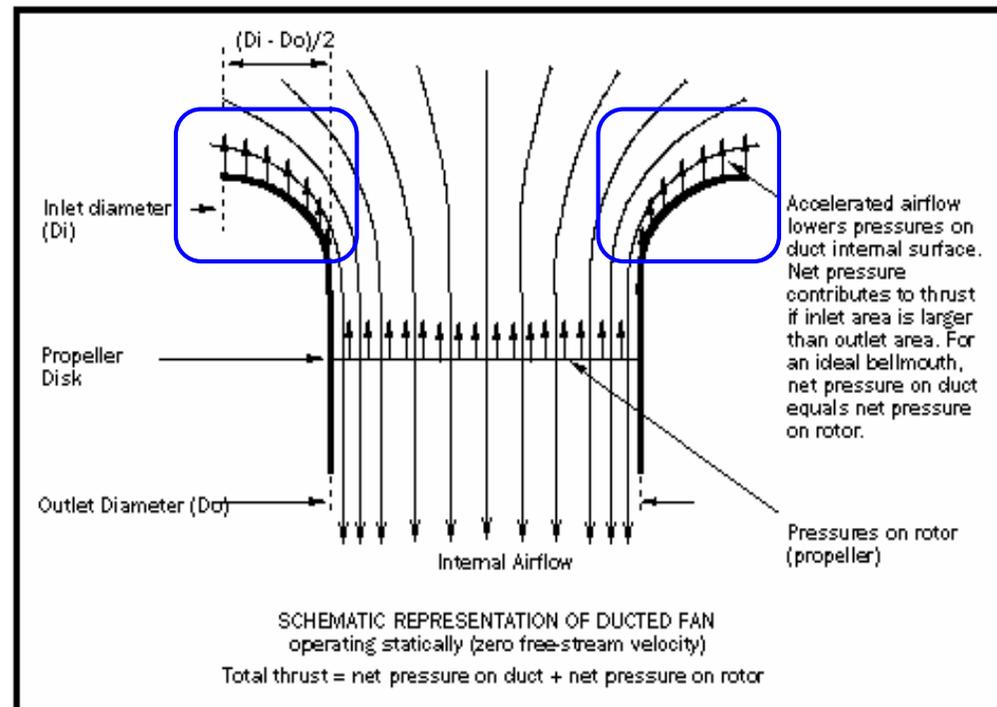


Friction losses

**Flow induced pressure difference creates positive thrust**

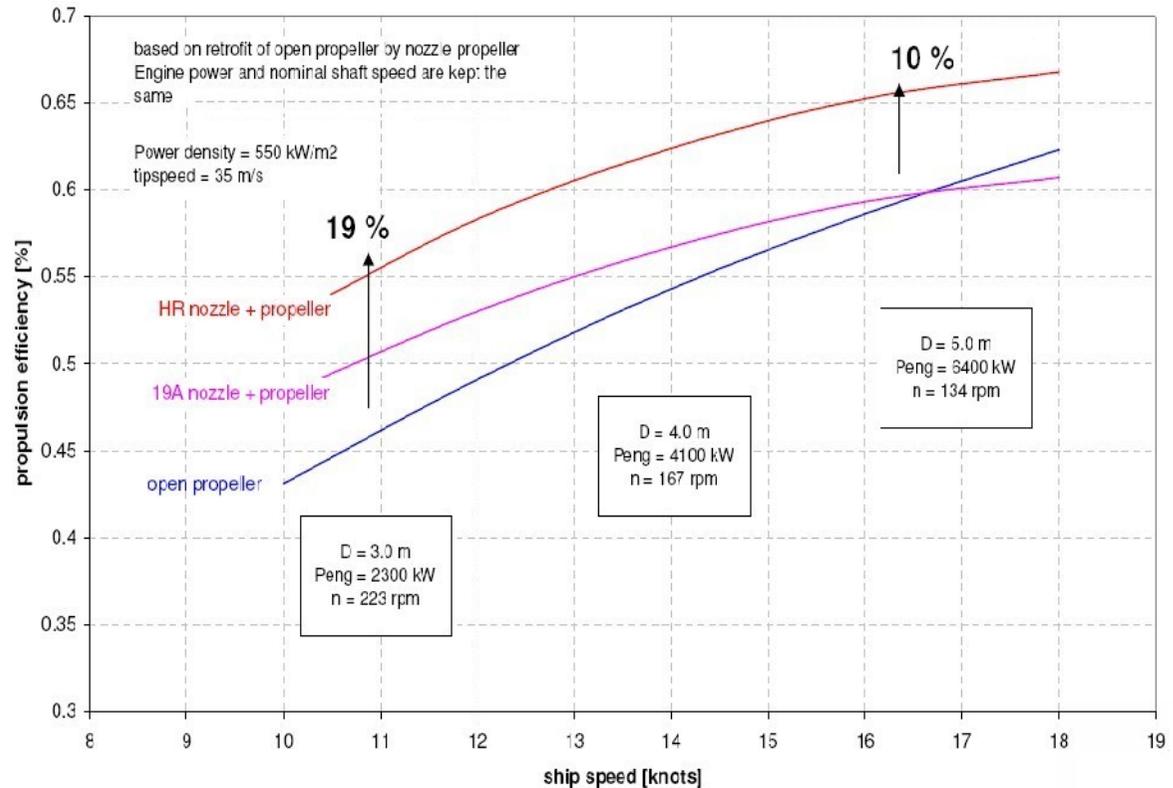
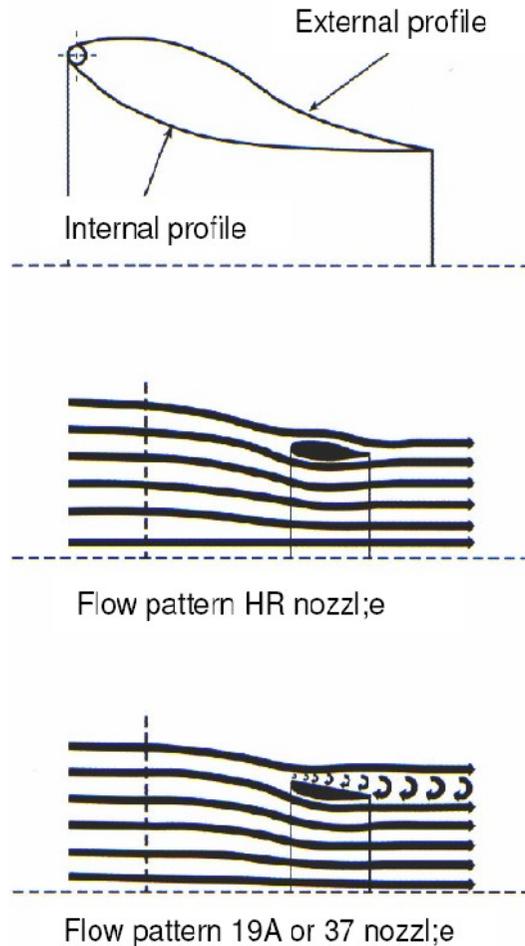


In case friction losses of nozzle are smaller than thrust efficiency increase for propulsor





## Propeller mit Leitrad (duct/shroud)



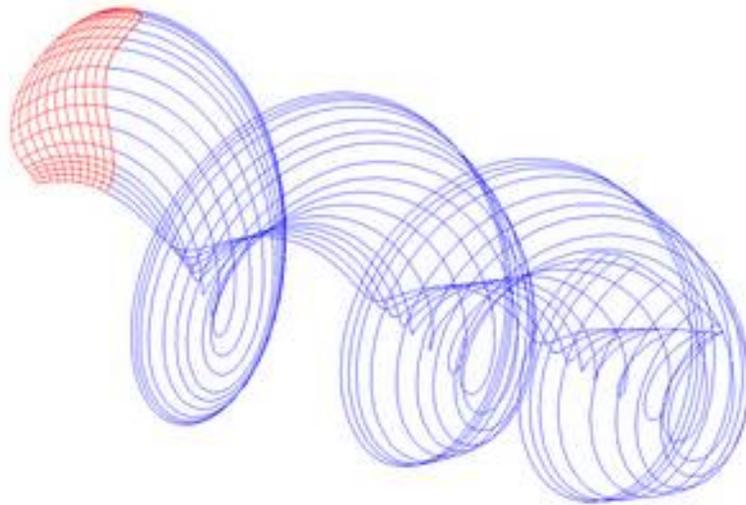
Wichtig: die Aussenfläche muss eine Form haben, die keine Wirbel erzeugt!



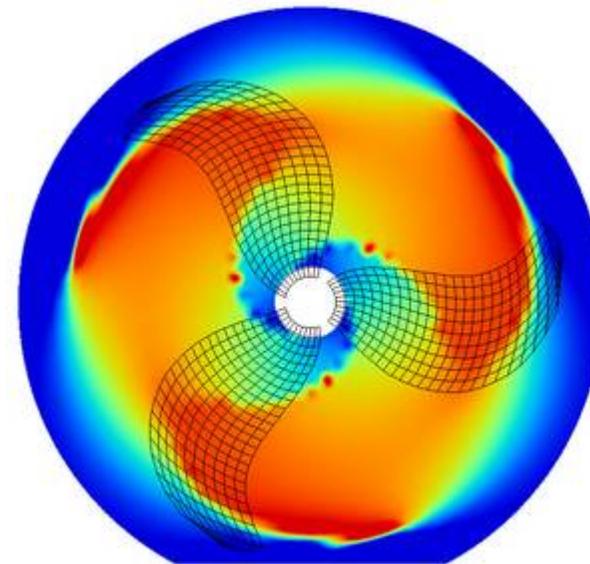
## Propellerauslegung heute

Wurden früher Propeller vor allem nach Erfahrung und in endlosen (und teuren) Versuchreihen „designed“, so wird heute mit hohem rechnerischen Aufwand und CPU-intensiven Programmen versucht, in Tausenden von Iterationen die Gitterströmung um den Propeller mathematisch nachzubilden.

Der endgültige Feinschliff erfolgt aber nach wie vor im praktischen Versuch.



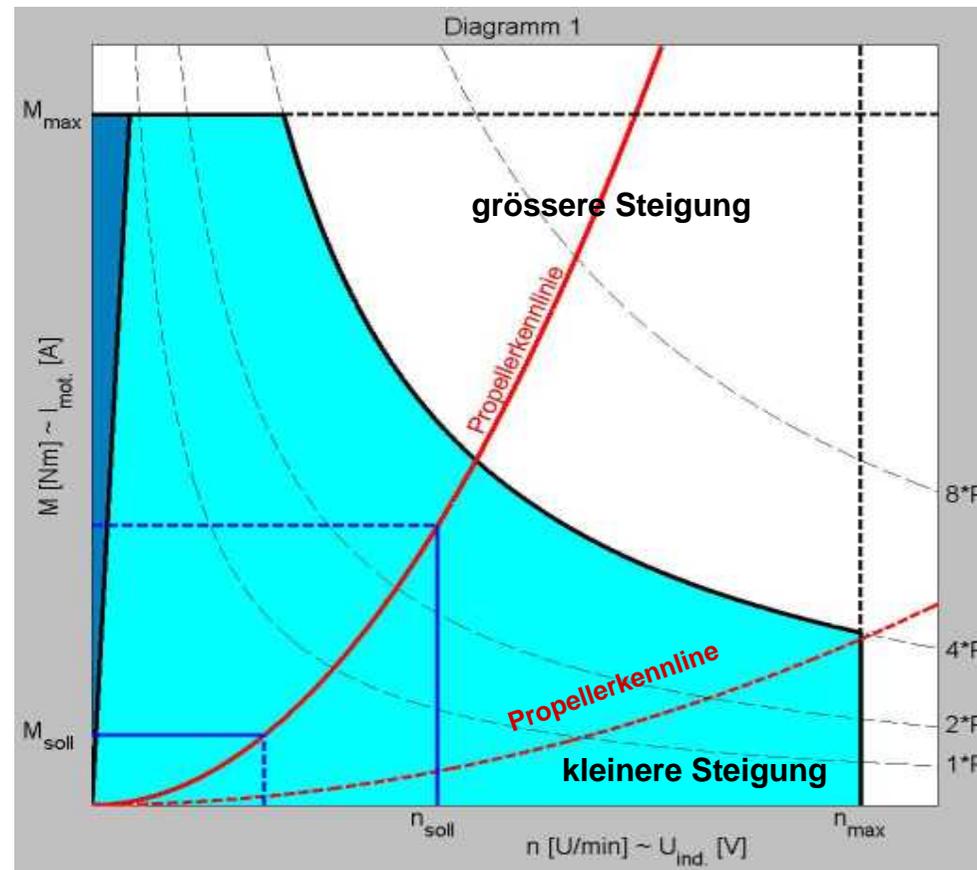
Gitterstruktur für die Berechnung der Propellereigenschaften der Variable-Pitch-Variable-Camber (VPVC) Propeller von Torqeedo



Schnitt durch den berechneten Propellerstrahl (rot hohe Geschwindigkeiten, blau niedrige Geschwindigkeiten)



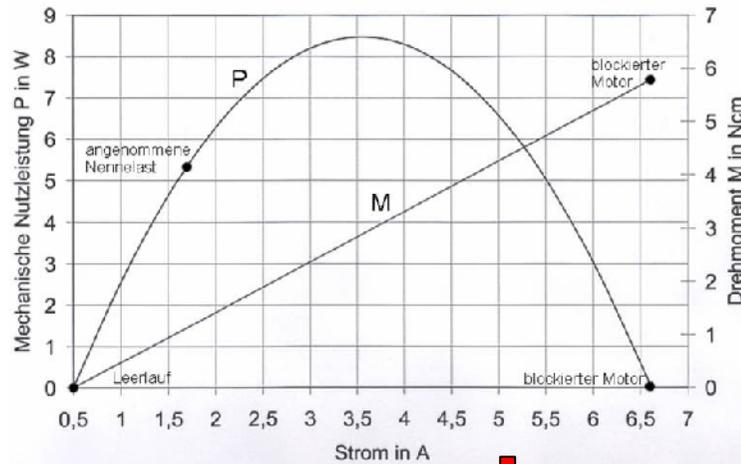
## Propeller-Kennlinie



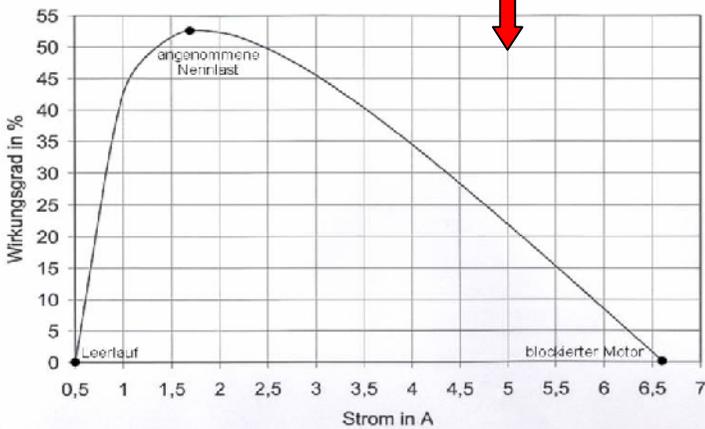
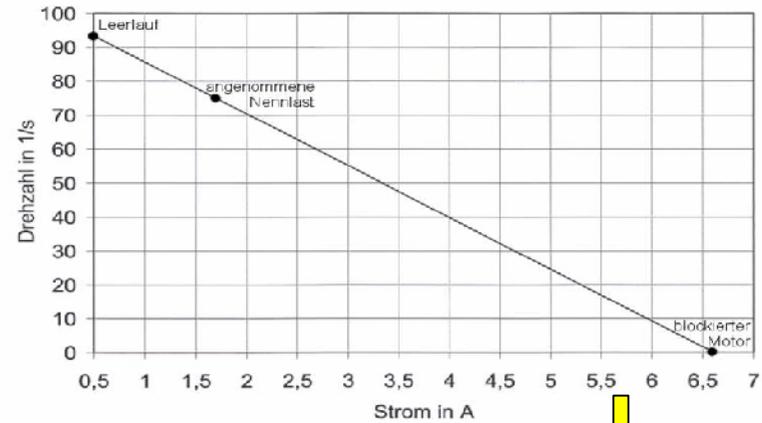


## Motoren-Kennlinien

Drehmoment und Leistung = f(I)

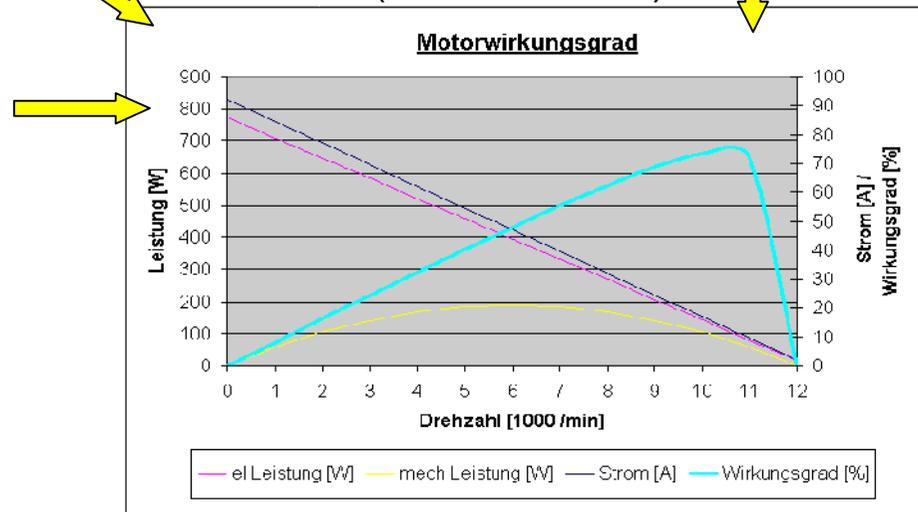


Stromaufnahme I = f(n)



Wirkungsgrad = f(I)

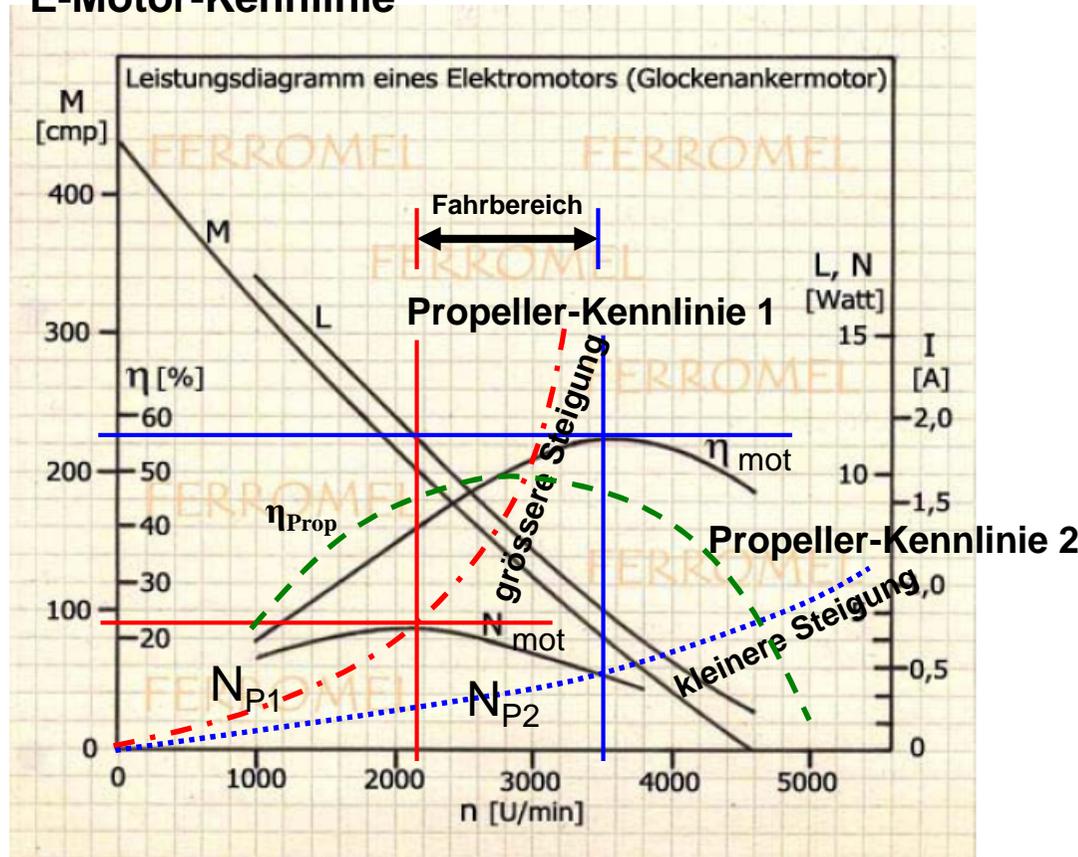
Kombination (über Drehzahl)





## Motoren- und Propellerkennlinie

### E-Motor-Kennlinie



(1)  $M \sim I_{\text{mot.}}$

(2)  $n \sim U_{\text{ind.}}$

(3)  $N \sim n * M$

(4)  $N \sim U_{\text{ind.}} * I_{\text{mot.}}$

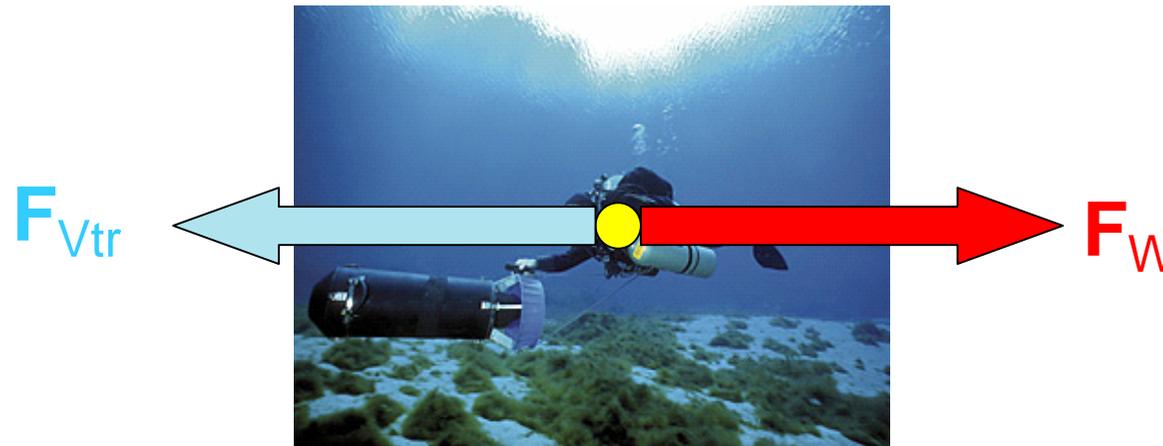
### Fahrbereich:

Der Motor, resp. Propeller sollte im Bereich zw. max. Leistung und max. Motor-Wirkungsgrad gefahren werden.

Der max. Propellerwirkungsgrad (prop-efficiency) sollte ebenfalls in diesem Bereich liegen.

Mit einem Verstellpropeller (variable Steigung) wird versucht, diesen Bereich auszudehnen.

## Kräftediagramm (vereinfacht) und Widerstandsbeiwert



bei konstanter  
Geschwindigkeit gilt:  $F_{Vtr} = F_W$  (nur betragsmässig!)

Zusammenhang zwischen Vortriebsleistung  $P_{Vtr}$  und Vortriebskraft  $F_{Vtr}$

$$P_{Vtr} = P_{el} * \eta_{ges} = F_{Vtr} * v \quad \text{oder} \quad F_{Vtr} = P_{Vtr} / v = P_{el} * \eta_{ges} / v$$

bei turbulenter Strömung gilt für den Widerstand  $F_W$ :

$$F_W = 0.5 * \rho_{H2O} * A_T * C_W * v^2$$



## Experimentelle Ueberprüfung

Basis ist Testbericht in *Unterwasser* 10/05. Dabei wurden für den SUEX Zeuxo ADV 15 folgende Werte *gemessen*:

$$\text{statischer Schub } F_{sS} \approx 20 \dots 21 \text{ kg} \\ (= 196 \dots 206 \text{ N})$$

$$v_{\max} \approx 1 \text{ m/s } (= 3.6 \text{ km/h})$$

Es gilt BETRAGSMAESSIG:  $F_{Vtr} = F_{sS} = F_W = P_{Vtr} / v_{\max}$

Damit erhalten wir für die betragsmässig für die *gemessene* Vortriebskraft:

$$F_{Vtr} = 196 \dots 206 \text{ N (Mittelwert: 200 N)}$$

Um eine Uebereinstimmung zu erhalten kann nun der dafür *erforderliche* Systemgesamtwirkungsgrad nachgerechnet werden und wir erhalten:

$$\eta_{\text{ges}} = F_{Vtr} * v_{\max} / P_{el}$$



$$\eta_{\text{ges}} \approx 0.444$$



## Widerstandsbeiwert mit experimentellen Werten nachgerechnet

Damit kann man nun den Widerstandsbeiwert  $C_W$  bestimmen:

$P_{el} = 450W$   
bei  $v_{max} = 1 \text{ m/s}$   
 $\eta_{ges} = 0.444$   
 $A_T = 0.4 \dots 0.5 \text{ m}^2$   
 $v = v_{max} = 1 \text{ m/s}$   
 $\rho_{H2O} = 1000 \text{ kg/m}^3$

$$C_W = \frac{2 * P_{el} * \eta_{ges}}{\rho_{H2O} * A_T * v^3}$$

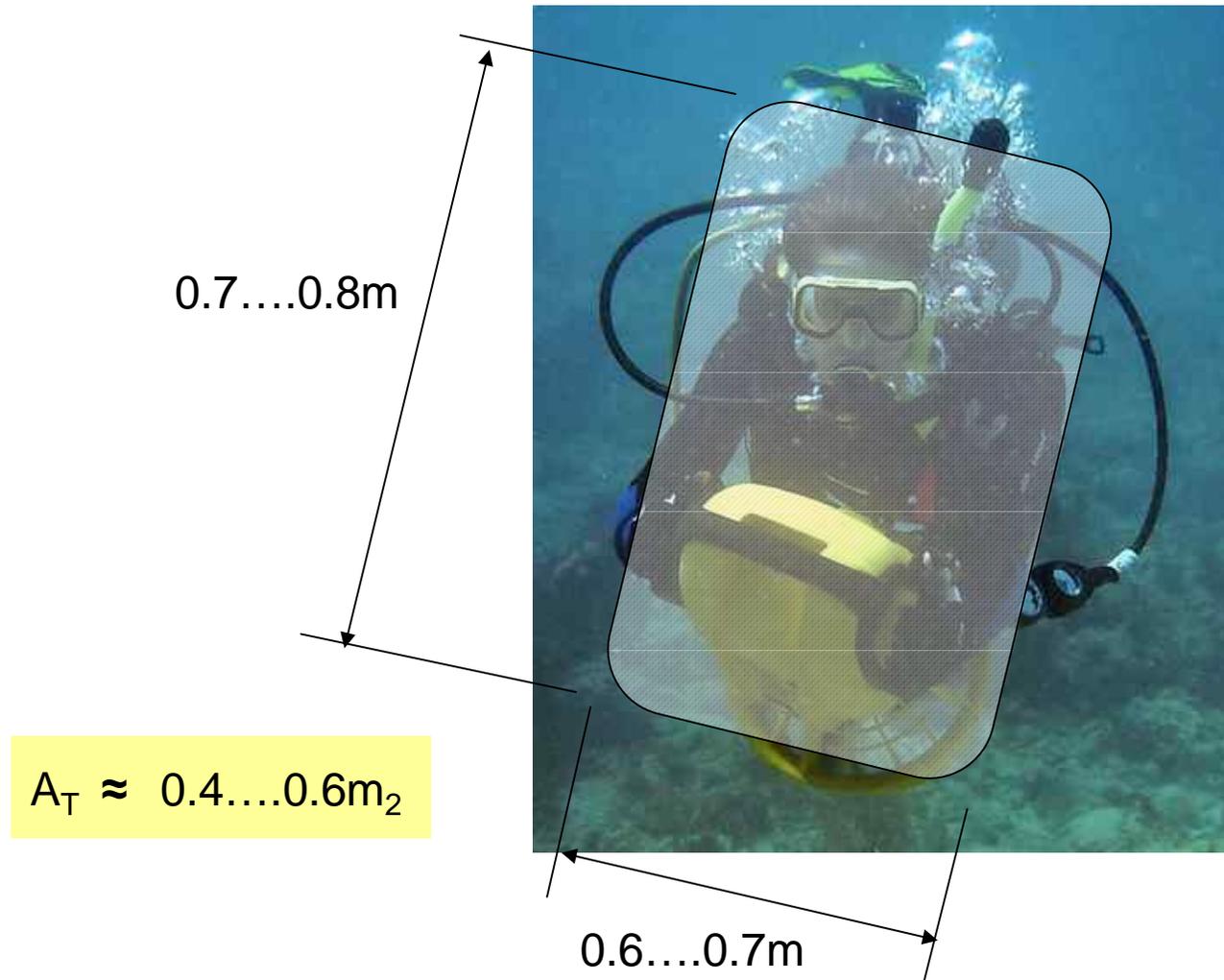
  $C_W \approx 0.799 \dots 0.999$

**zum Vergleich die  $C_W$ -Werte von:**

Fallschirm:	1.4	Citroen Döschwo:	0.50
Omnibus:	ca. 1.2	Kugel:	0.45
Scheibe, Wand:	1.1	BMW 3er, 2007:	0.26
LKW:	0.8	PAC Car II der ETH:	0.075
Mensch, stehend:	0.78		
unverkleidetes Motorrad:	ca. 0.7		

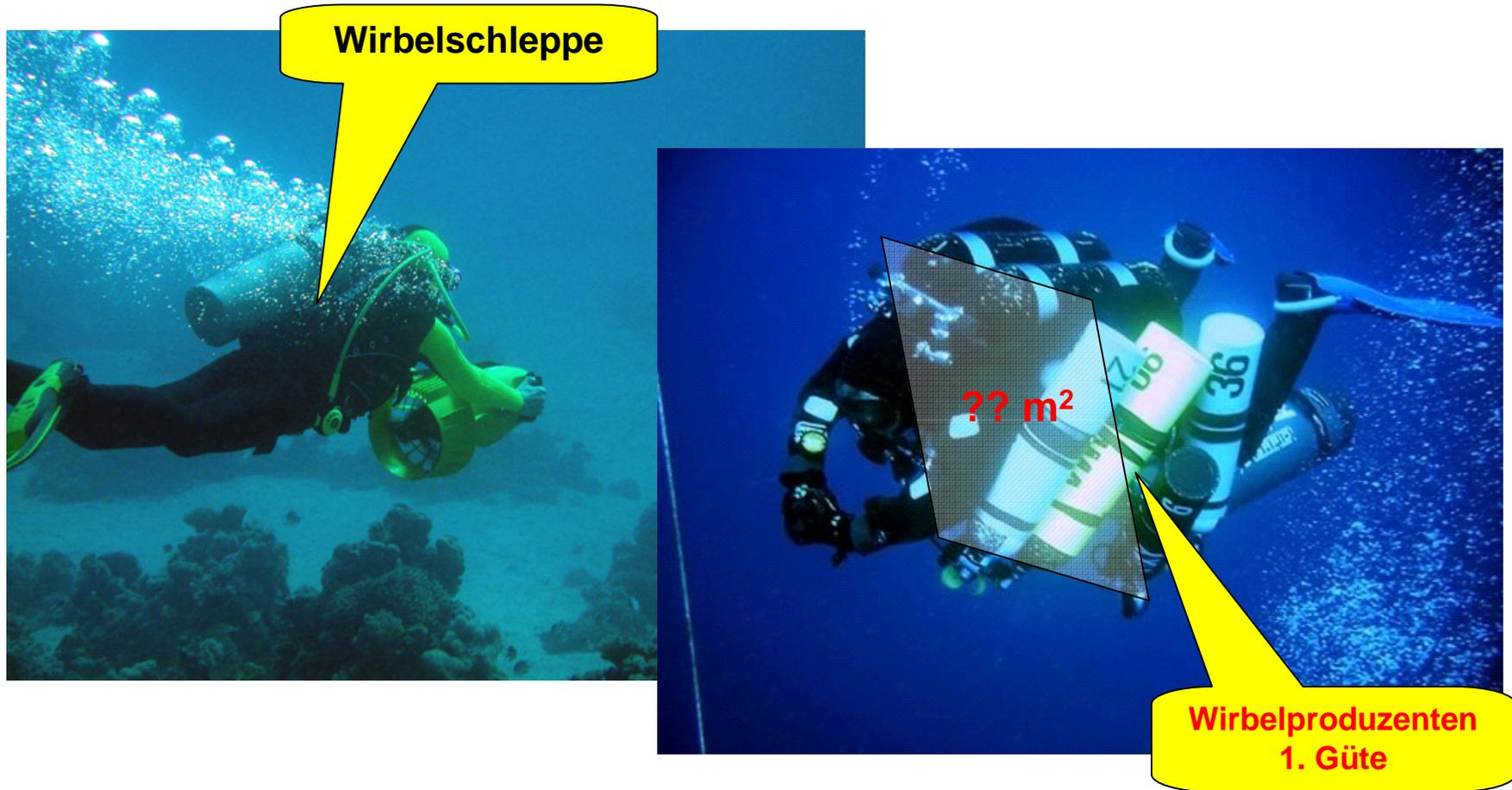


## Querschnittsfläche



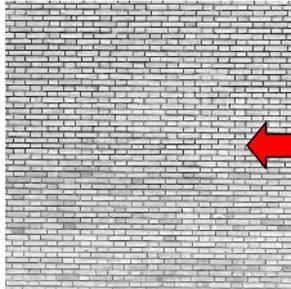


## Wirbelbildung u. Querschnittsflaeche





## Kommentar zum berechneten Widerstandsbeiwert



HYDRODYNAMISCH gesehen, pflügt der Taucher, vor allem noch der Scooter-Taucher, durch das Wasser mit einer Eleganz, welche zwischen einer Wand und einem LKW steht.



Der Grund liegt vor allem daran, dass das System Mensch-Scooter über die gesamte Länge – und dies noch auf der **Unterdruckseite (Rücken)** - eine höchst unregelmässige Oberfläche hat, welche zu einer grossen Wirbelschleppe führt.

*Unter diesem Gesichtspunkt zeugt die Behauptung von gewissen „Tekkies“, die Standfüsse an den Flaschen seien abzunehmen um damit „strömungsgünstiger“ zu werden, von einer totalen Physik-Ignoranz.*



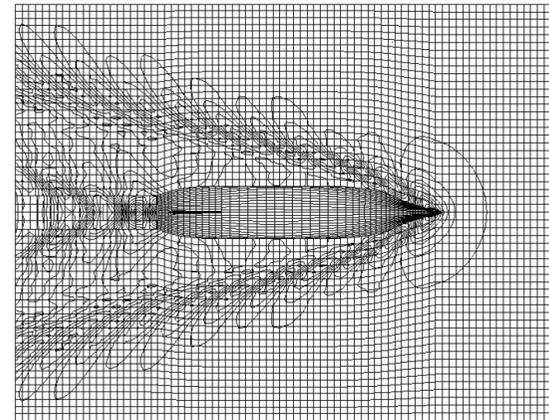


## Fahrleistungen – Vergleich Rechnung $\leftrightarrow$ Messung

Rumpfgeschwindigkeit:

$$v_R = \sqrt{\frac{g}{2 * \pi}} * \sqrt{LWL} \quad [\text{m/sec}]$$

Zeuxo ADV 30: ca. 1.12 m / sec



Maximale Geschwindigkeit mit vorhandener Leistung :

$$v_{\max} \approx \sqrt{\frac{LWL * N_{\text{Mot}} * \eta_{\text{GM}} * \eta_{\text{Gtr}} * \mu}{V_v}} \quad [\text{km/h}]$$

gerechn. Geschw. ADV30: ca. 3.29 km/h = 0.91 m/sec

Messung ADV30: ca. 0.8-0.9 m/sec



Höhlintauchausbildung mit Swiss Cave Diving / CMAS



Vortrag Beat Müller, 4. Int. Speleo-Kongress, St.Nazaire, 1.6.2008

## Nützliche Links für Class 3 Scooter

[www.suex.it](http://www.suex.it)

[www.divesystem.com](http://www.divesystem.com)

[www.silent-submersion.com](http://www.silent-submersion.com)

[www.dive-xtras.com](http://www.dive-xtras.com)



Höhlerntauchausbildung mit Swiss Cave Diving / CMAS



Vortrag Beat Müller, 4. Int. Speleo-Kongress, St.Nazaire, 1.6.2008

**Swiss Cave Diving wünscht allen weiterhin schöne und  
unfallfreie Tauchgänge....**

**mit und ohne Scooter!**

**Besten Dank!**

***[www.swiss-cave-diving.ch](http://www.swiss-cave-diving.ch)  
(das Original!)***