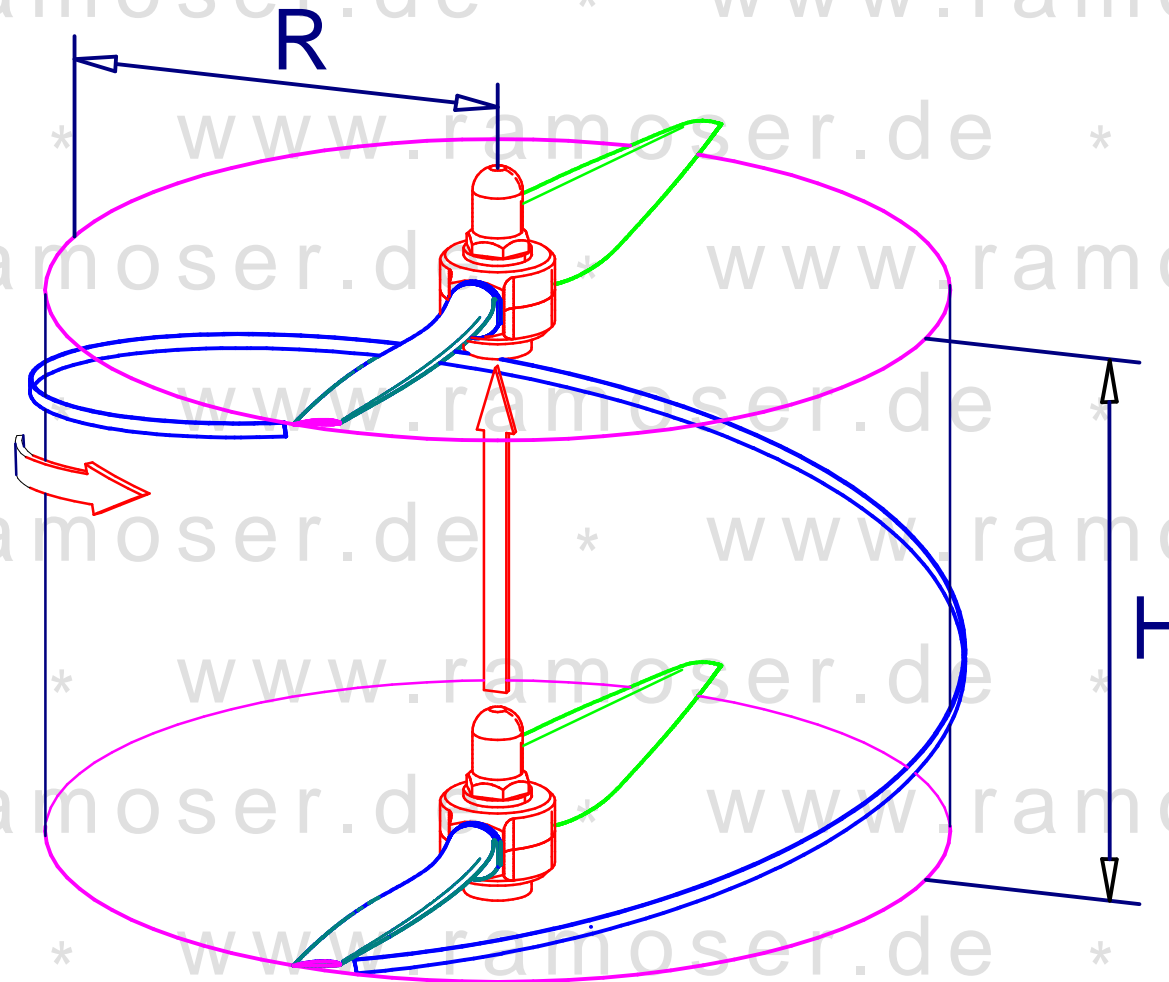


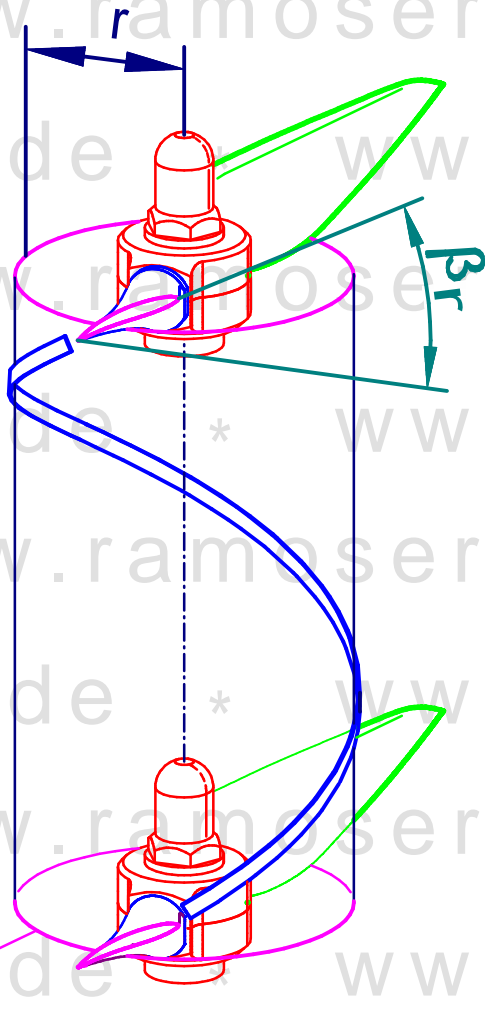
# **Der kleine Propellerlehrgang**

## **In sieben Schritten zum richtigen Propeller**

**Nach einer kleinen Einleitung zur Propellergeometrie und zur Darstellung von Geschwindigkeiten und Kräften am Propeller, werden an zwei einfachen Beispielen und in einer ersten Näherung, geeignete Motoren und Propeller ermittelt.**

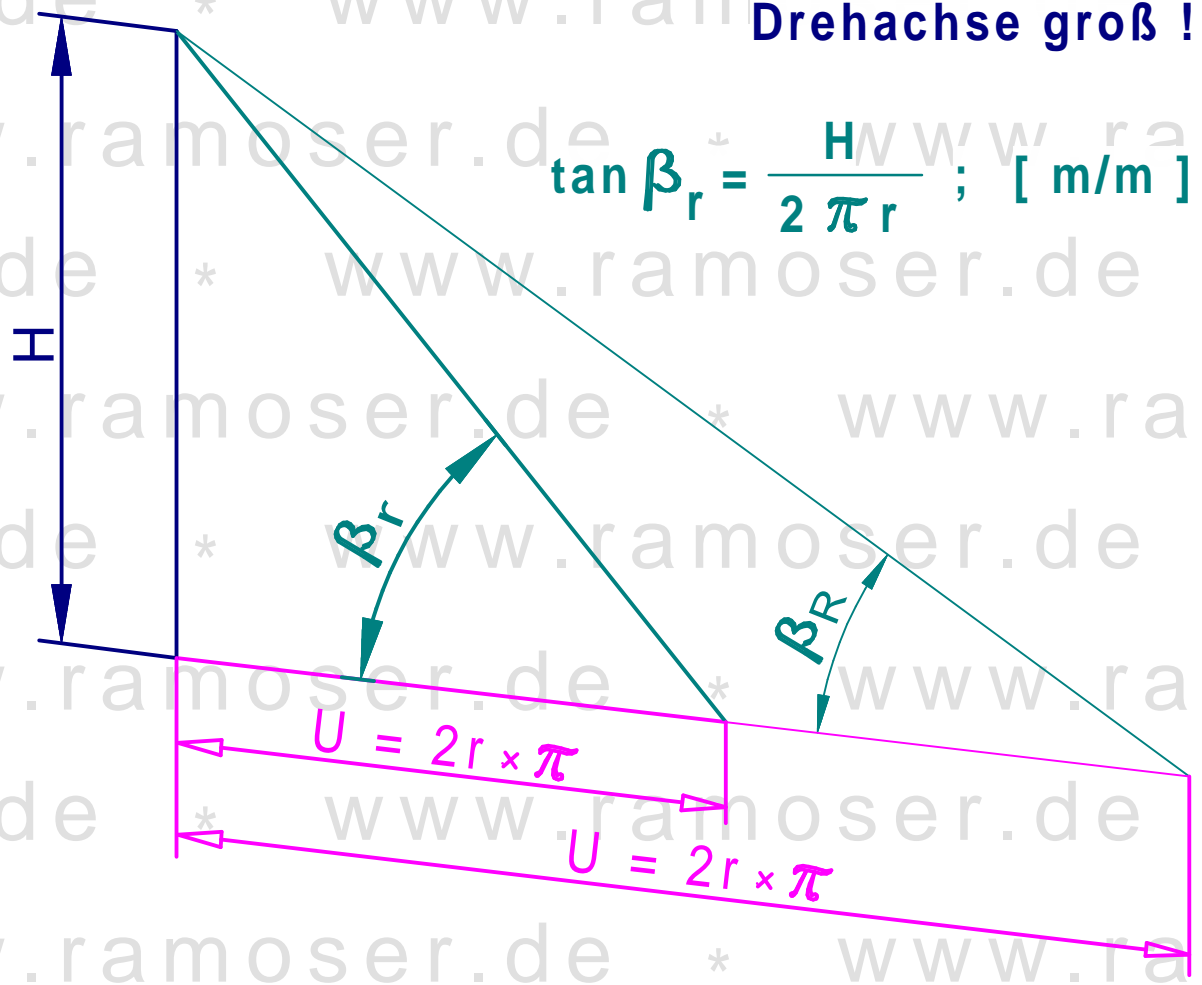


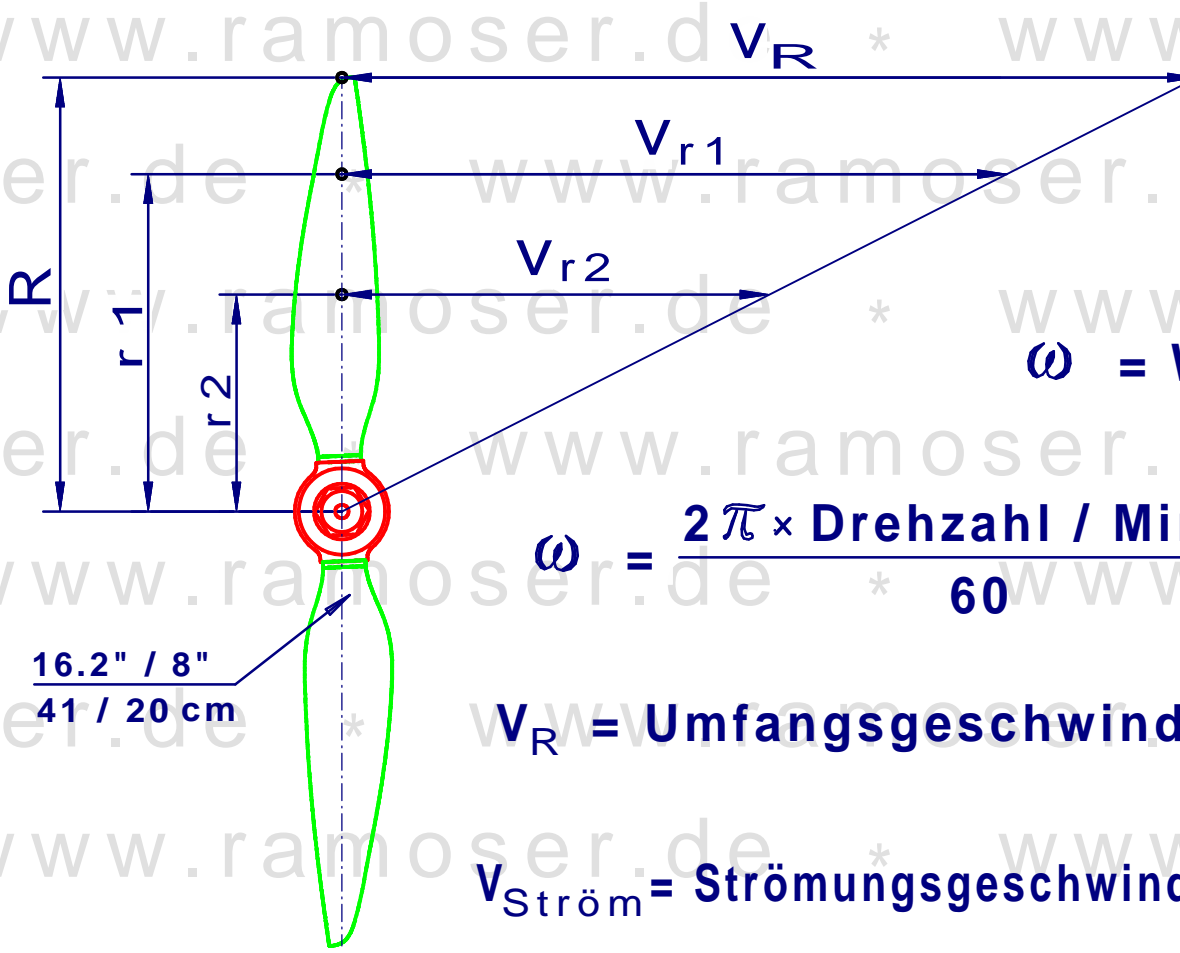
**Die Steigung " H " ist der Weg, den die Luftschraube nach einer Umdrehung zurücklegt, wenn Sie keinen Widerstand hätte !**



Der Steigungswinkel " $\beta_r$ " ist bei kleinem Abstand zur Drehachse groß !

$$\tan \beta_r = \frac{H}{2 \pi r} ; [ \text{m/m} ]$$





$\omega$  = Winkelgeschwindigkeit ;

$$\omega = \frac{2\pi \times \text{Drehzahl / Minute}}{60} = \frac{2\pi \times n}{60} ; [ 1/s ]$$

$$V_R = \text{Umfangsgeschwindigkeit} = R \times \omega ; [ m/s ]$$

$$V_{\text{Ström}} = \text{Strömungsgeschwindigkeit} = \frac{H \times n}{60} ; [ m/s ]$$

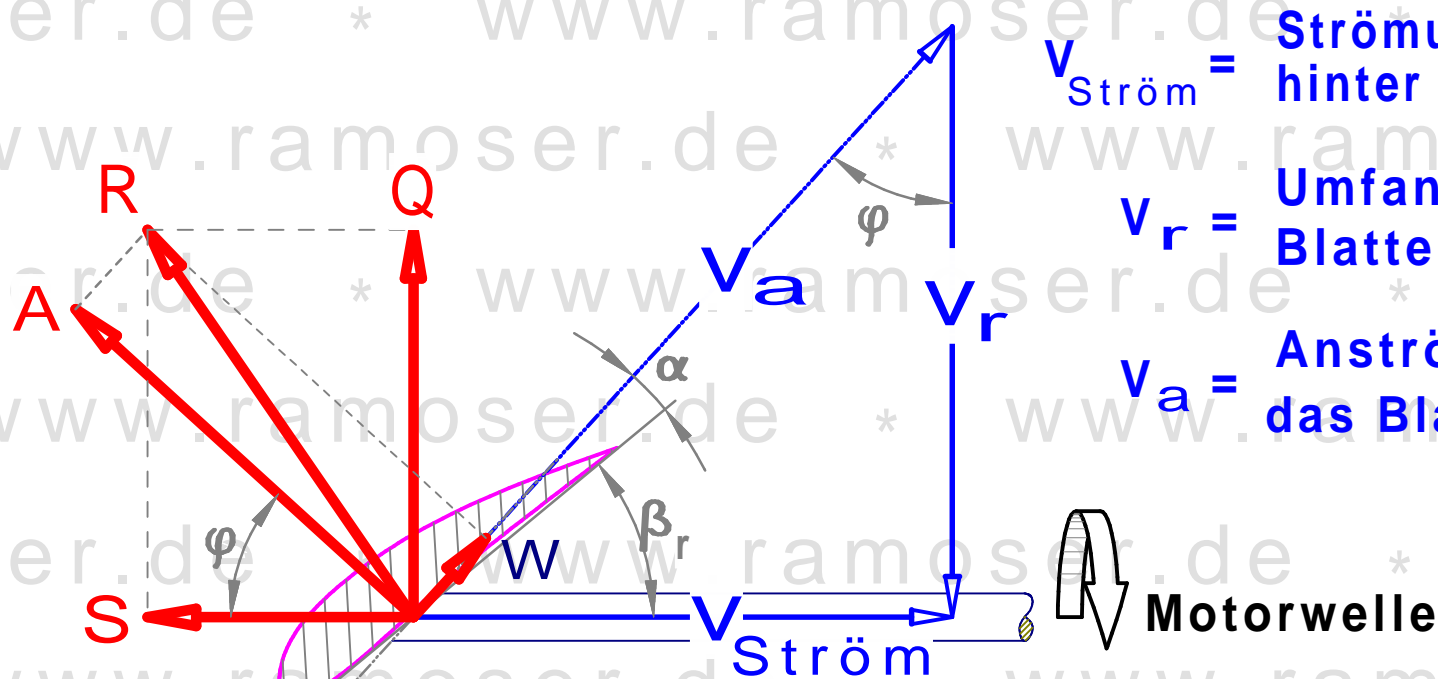
Beispiel zu  $v_{\text{Ström}}$ :

$$\frac{8.000 \frac{1}{\text{min}} \times 8'' \times 0.0254 \text{ m}}{60} = 27 \times 3,6 = 97 \text{ km/h};$$

Beispiel zu  $v_R$ :

$$0.205 \text{ m} \times \frac{6.28 \times 8.000 \frac{1}{\text{min}}}{60} = 172 \times 3,6 = 619 \text{ km/h};$$

**Blattprofil im Abstand "r" :**



$v_{Ström}$  = Strömungsgeschw. hinter dem Propeller  
 $v_r$  = Umfangsgeschw. am Blattelement  
 $v_a$  = Anströmgeschw. auf das Blattprofil

$Q$  = Querkraft  
 $S$  = Propellerschub

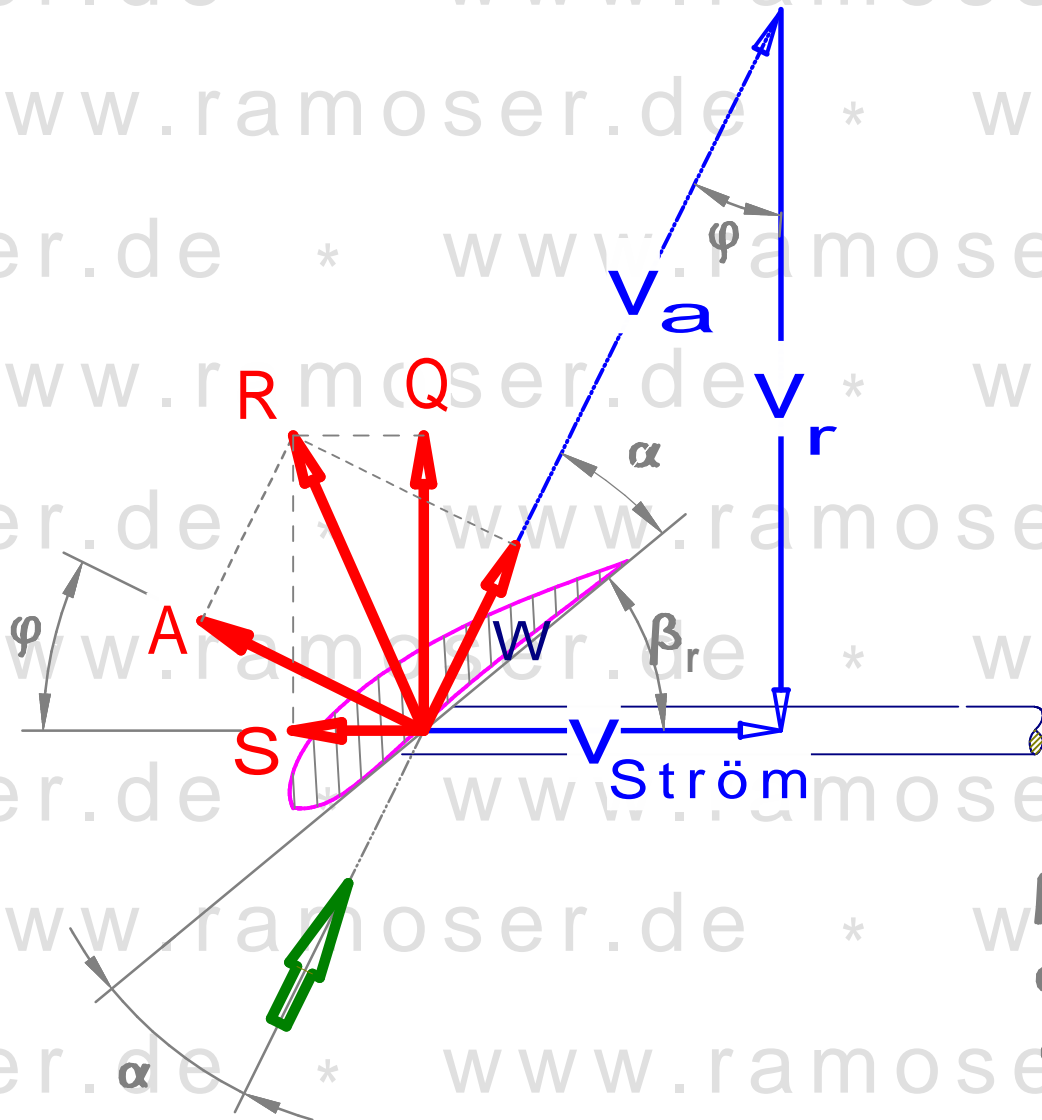
$W$  = Widerstandskraft  
 $R$  = Resultierende Kraft

$A$  = Auftrieb, senkrecht zu " $v_a$ "

$\beta_r$  = Steigungswinkel  
 $\alpha$  = Anstellwinkel  
 $\phi$  = Anströmwinkel

Abb.: 04A

# Blattprofil im Abstand "r" unter Standschubbedingungen:



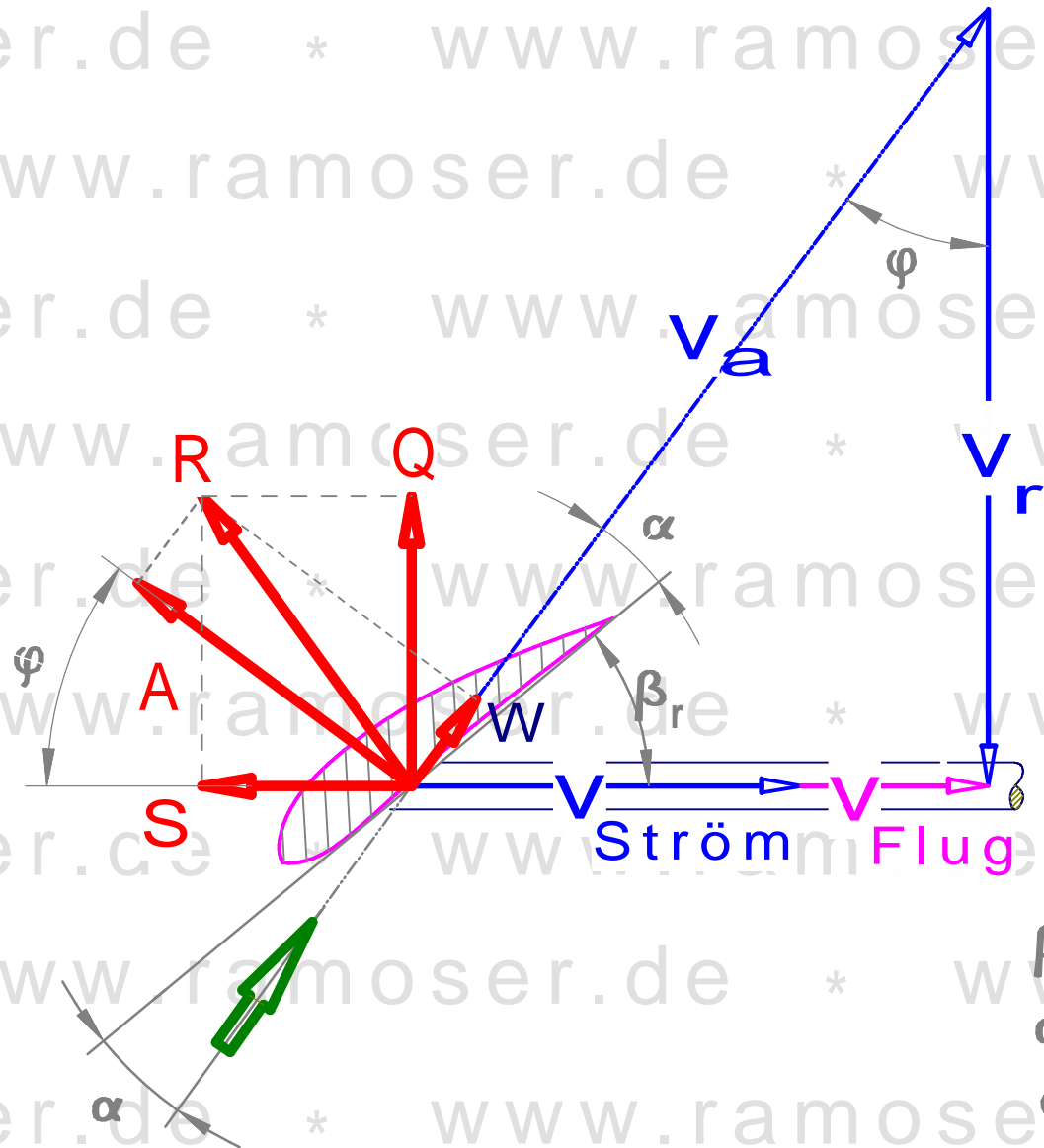
Bem.: Weil der Profilabschnitt relativ steil zur Anströmung "va" steht, ist die Widerstandskraft "W" groß.

 Motorwelle

- $\beta_r$  = Steigungswinkel
- $\alpha$  = Anstellwinkel ist groß.
- $\varphi$  = Anströmwinkel ist klein.

Abb.: 04B

# Blattprofil im Abstand "r" im Kraftflugzustand:

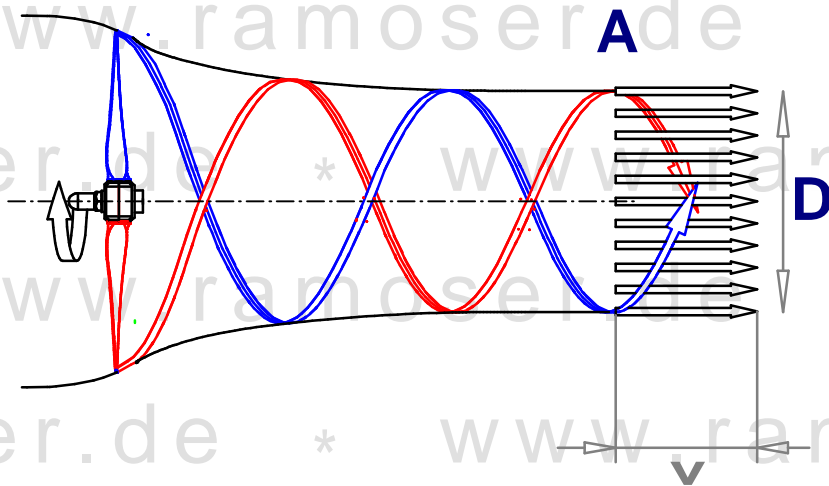


Bem.:  
 "α" und damit auch der Widerstand "W" verringern sich. Die Motordrehzahl nimmt zu und damit erhöht sich auch "v<sub>r</sub>".

- $\beta_r$  = Steigungswinkel
- $\alpha$  = Anstellwinkel ist klein.
- $\phi$  = Anströmwinkel ist groß.

Abb.: 04C

## Propellerschub:



$$\dot{m} = A \times \rho \times v ; \quad [\text{kg/s}]$$

$$\dot{m} = \frac{D^2}{4} \pi \times \rho \times v ; \quad [\text{kg/s}]$$

## Stand Schub:

$$S_o = \dot{m} \times v ; \quad [\text{kg/s} \times \text{m/s}]$$

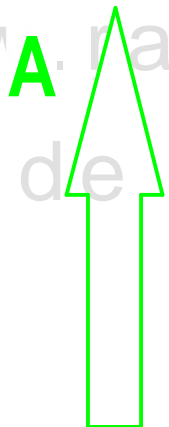
A = Propellerkreisfläche     $\rho$  = Luftdichte 1.23 kg/m

**Man beachte der Massendurchsatz  $\dot{m}$  nimmt im Quadrat zum Durchmesser zu !**



www.ramoser.de \* www.ramoser.de \*

**Auftriebskraft**

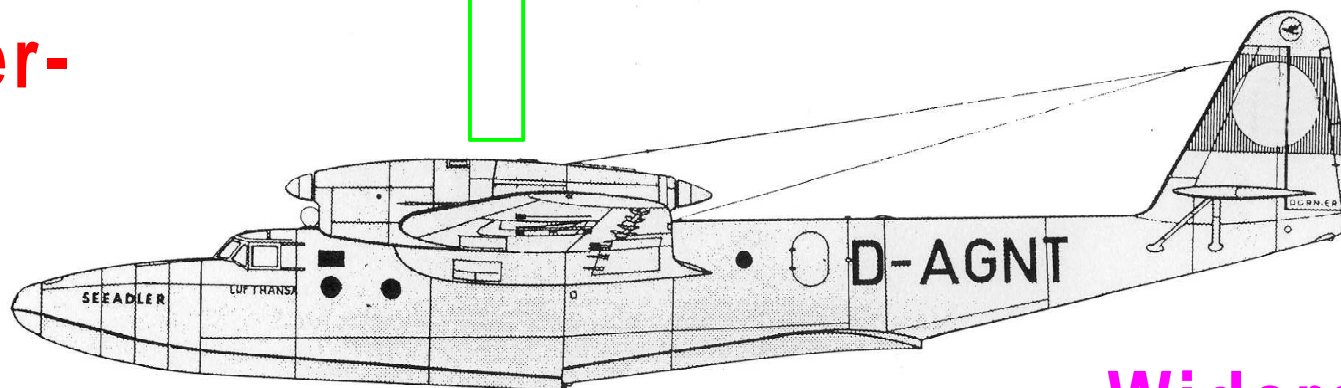


**A**

**Propeller-  
schub**

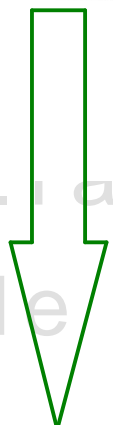


**S**



**W**

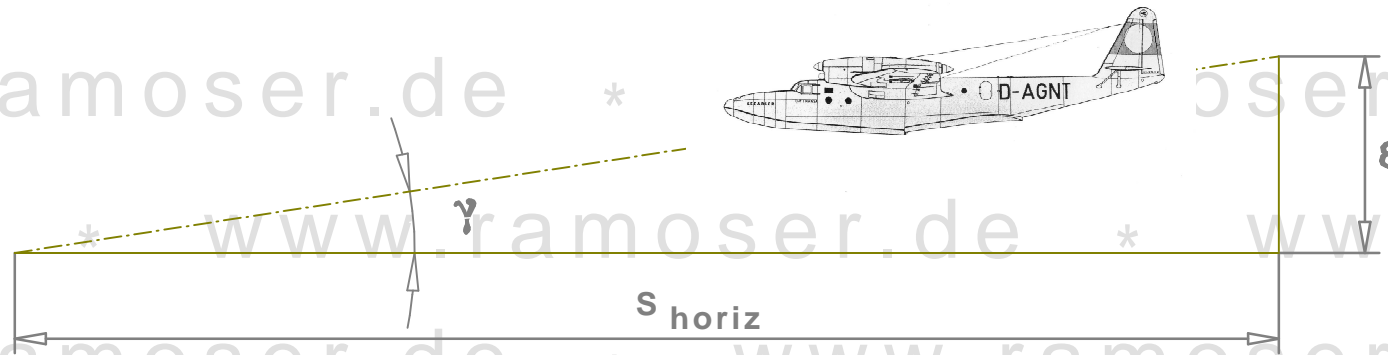
**Widerstands-  
kraft**



**G**

**Gewichtskraft**

# Der Zustand gleichmäßigen Sinkens:



$$\text{Gleitzahl } \epsilon = \frac{\text{Abflughöhe } H}{\text{Reichweite } S_{\text{horiz}}} = \frac{v_{\text{sink}}}{v_{\text{horiz}}} = \tan(\gamma); \quad [-]$$

$$\text{Gleitverhältnis } E = \frac{1}{\epsilon} = \frac{C_a}{C_w} = \frac{A}{W};$$

**Beispiel: Welche theor. Sinkgeschwindigkeit hat der A380 ?**

$$\epsilon_{A360} = \frac{1}{16}; \Rightarrow v_{\text{sink}} = \epsilon_{A380} \times v_{\text{horiz}} = \frac{1}{16} \times 390 \text{ km/h} = 24,4 \text{ km/h oder } 6.8 \text{ m/s};$$

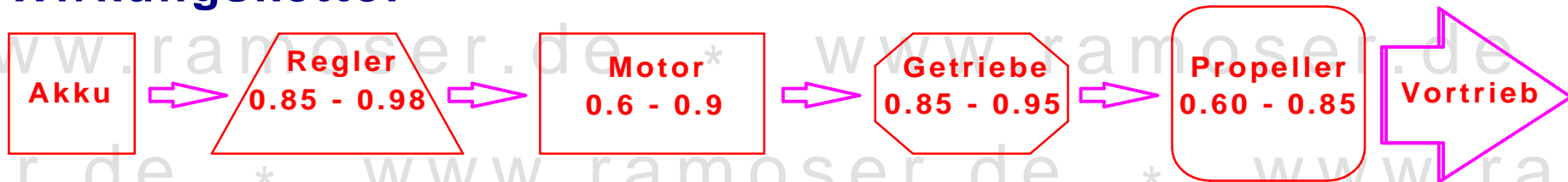
# Erforderliche Vortriebsleistung:

$$P_{\text{Vortr}} = G \times (v_{\text{Sink}} + v_{\text{Steig}}) ;$$

$$[W] = [Nm/s] = [N] \times [m/s] ;$$

$G = \text{Flugmodell-Masse [kg]} \times 9.81 \text{ m/s} ;$

## Wirkungskette:



Werte für die Sinkgeschwindigkeit:

Hochleistungssegler : 0,6 ... 1,2 m/s

Segelmodelle : 0,8 ... 1,9 m/s

Indoormodelle : 0,9 ... 2,2 m/s

Motormodelle : 1,7 ... 4,8 m/s

$$\eta_{\text{ges}} = \eta_{\text{Regl}} \times \eta_{\text{Mot}} \times \eta_{\text{Getr}} \times \eta_{\text{prop}} ;$$

z.B.:  $0.48 = 0.95 \times 0.80 \times 0.90 \times 0.70 ;$

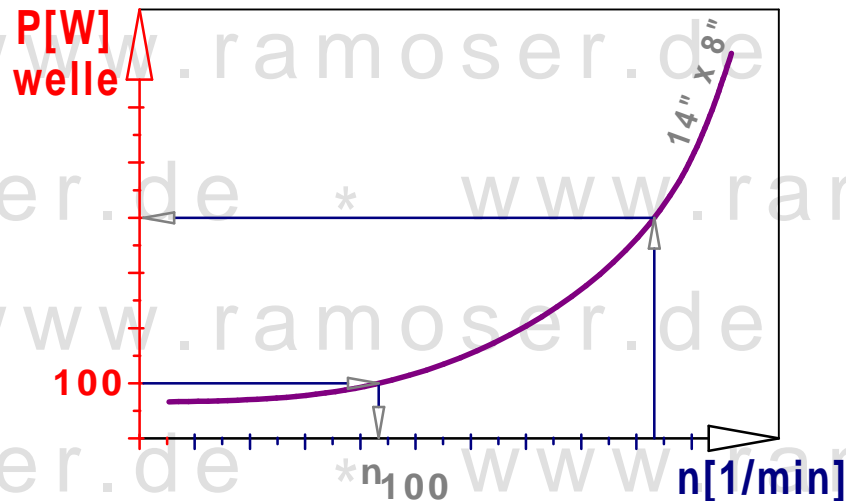
## Beispiel: Welche Motorleistung benötigt eine Do26 im Maßstab 1:9 ?

Fluggewicht: 12kg , Sinkgeschwindigkeit: 2,0m/s , Fluggeschw. 16 m/s ;

Steiggeschwindigkeit: 6,0m/s ; => Steigwinkel von knapp 21° ;

$$P_{\text{v}} = 12 \times 9,81 ( 2,0 + 6,0 ) = 942 \text{ W} ; \quad P_{\text{el}} = P_{\text{v}} \div 0.48 = 1962 \text{ W} ; \quad \Rightarrow 490 \text{ W / Motor}$$

## $n_{100}$ - Werte der Luftschraube:



$$P_1 \times n_2^3 = P_2 \times n_1^3$$

Daraus folgt:

$$n = n_{100} \times \sqrt[3]{\frac{P_{\text{welle}}}{100\text{W}}} ; \quad [1/\text{min}]$$

$$n_{100} = n \times \sqrt[3]{\frac{100\text{W}}{P_{\text{welle}}}} ; \quad [1/\text{min}]$$

$$P_{\text{welle}} = 100\text{W} \left( \frac{n}{n_{100}} \right)^3 ; \quad [\text{W}]$$

### Beispiel 3-Blatt 14" x 8":

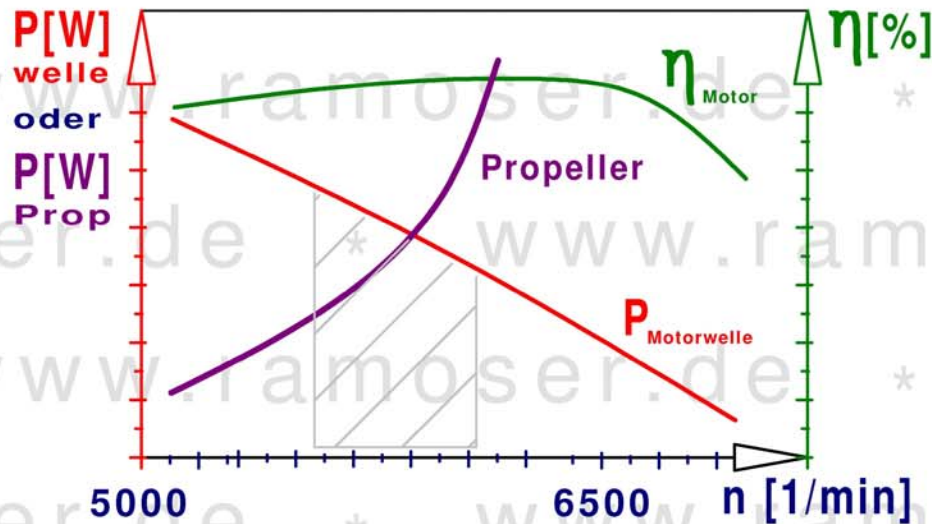
Wenn für 5000 1/min, 200W benötigt werden, dann gilt :

$$n_{100} = 5000 \sqrt[3]{\frac{100\text{W}}{325\text{W}}} = 3375 \text{ 1/min} ;$$

Welche Leistung benötigt dann diese 3-Blatt bei einer Drehzahl von 8.500 1/min ?

$$P_{\text{welle}} = 100\text{W} \left( \frac{8500}{3375} \right)^3 = 1597 \text{ Watt} ;$$

# Der richtige Motor :



## Motorangaben (Beispiel):

- Nennspannung [V]: 4S LiPo x 3.6V
- Nennstrom [A]: 20...45(55 f. 60s)
- Spez. Drehzahl U/V: 480
- Max. Wirkungsgrad: 86%

$$\Rightarrow P_{el} = U \times I = 14.4V \times 43A = 619 \text{ Watt ;}$$

$$P_{welle} = \eta \times P_{el} = 0.8 \times 619 = 495 \text{ Watt ;}$$

### Beispiel Motor bei U= 14.4V:

$$n_{leer} = 14.4V \times 480 \text{ U/V} = 6912 \text{ 1/min ;}$$

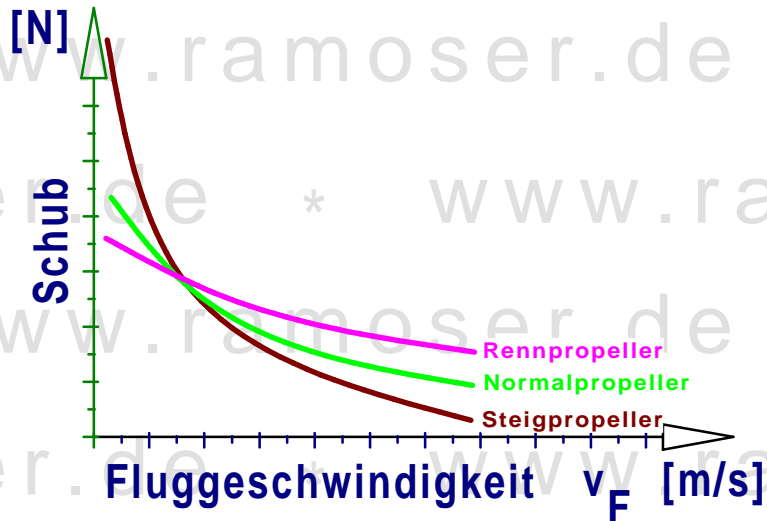
$$n_{nutz} = 0.8 \dots 0.90 \times n_{leer} = 5530 \dots 6221 \text{ 1/min ;}$$

$$n_{100M} = n_{nutz} \sqrt[3]{\frac{100W}{495W}} = 3244 \dots 3650 \text{ 1/min ;}$$

### Div. Propeller mit diesem n<sub>100</sub>:

|           |        |   |               |      |
|-----------|--------|---|---------------|------|
| APC       | 12x12" | / | 30,5x30,5cm:  | 3698 |
| Cam-Carb. | 14x12" | / | 35,5x30,5cm:" | 3940 |
| Cam-Carb. | 15x10" | / | 38,0x25,5cm:  | 3640 |
| Cam-Carb. | 18x9"  | / | 45,5x23,0cm:  | 3250 |

## Die erforderliche Steigung der Luftschraube:



$$a = \frac{v_{\text{Ström}}}{v_{\text{Flug}}} = \frac{n \times H}{v_{\text{Flug}} \times 60} ;$$

$a = 1.3$  ; Für Steigpropeller

$a = 1.5$  ; Für Normalpropeller

$a = 2.0$  ; Für Rennpropeller

### Beispiel für eine Fluggeschwindigkeit vom 16m/s:

Für eine Drehzahl von  $n=6000$  1/min und Normalpropeller gilt dann:

$$H = \frac{a \times 60 \times v_{\text{Flug}}}{n} = \frac{1.5 \times 60 \times 16}{6000} = 0.24\text{m, oder } 9,4'' ;$$

- Somit werden für die Do 26 , 2-Blatt Propeller der Größe 18x9" empfohlen.

# Kochrezept am Beispiel eines Park-Flyers:

Bekannt ist:  $m=0,6\text{kg}$ ,  $v_{\text{Sink}} = 2,4\text{m/s}$ ,  $v_{\text{Flug}} = 5,6\text{m/s}$  (20km/h) .

Gewünschter Steigwinkel:  $30^\circ$ ,  $\Rightarrow v_{\text{Steig}} = v_{\text{Flug}} \times \tan(30^\circ) = 3,2\text{m/s}$  ;

1. Leistungsbedarf:  $P_v = 0.6 \times 9,81(2,4 + 3,2) = 33\text{W}$  ;  $P_{el} = P_v \div 0.5 = 66\text{W}$  ;

2. Motor für 2S-LiPo mit ca. 70W: z.B. AXI 2212/26 mit 920 U/V und 10A(12A).

3. Ermittlung von  $n_{\text{nutz}}$  :  $2 \times 3.6\text{V} \times 920\text{U/V} \times 0.85 = 6624$  1/min, bei  $10\text{A} \times 7,2\text{V} = 72\text{W}$ .

4. Ermittlung von  $n_{100M}$ :  $n_{100M} = n_{\text{nutz}} \sqrt[3]{\frac{100\text{W}}{72\text{W} \times 0,8}} = 7\,961$  1/min ;

5. Suche nach einen Propeller mit  $n_{100M} = n_{100}$  :

- Classic-CF: 2-Blatt 10x6"/25,5x15cm, mit  $n_{100} = 7630$  1/min. \*(1)

- varioPROP: 3-BI. 9,9x3,0"/25,1x7,6cm, mit  $n_{100} = 7950$  1/min. \*(2)

6. Die richtige Steigung mit  $a = 1.8$  :

$$H = \frac{a \times 60 \times v_{\text{Flug}}}{n} = \frac{1.8 \times 60 \times 5.6}{7961} = 0.076\text{m} = 7,6\text{cm};$$

7. Die Auswahl:

**varioPROP 3-Blatt 9,9x3.0"**

\*(1) Quelle: AeroNaut Katalog 2008, Seite195 . \*(2) Quelle: elektroModell 3/2002 - Wilhelm Geck

# Der Wechsel in gleichartige Mehrblatt-Luftschrauben:

| Änderung              | Zusammenhang  | Konstanten  | Bedingung                                  | Beispiel  |
|-----------------------|---|---|--|---|
| <b>B</b><br>Blattzahl | $P_{B\text{ welle}} = P_{A\text{ welle}} \frac{B_B}{B_A};$                | Durchm. "D"<br>Drehzahl "n"<br>Steigung "H"<br>Blattgeometrie   |  | Welche Leistung "P" braucht eine 3-Blatt, wenn eine 2-Blatt 500W benötigt?<br>$P_{3\text{-Blatt}} = 500W \frac{3}{2} = 750W;$   |
| <b>B</b><br>Blattzahl | $D_B = D_A \sqrt[4]{\frac{B_A}{B_B}};$                                    | Leistung "P"<br>Steigung "H"<br>Blattgeometrie  |  | Gesucht ist der Durchmesser "D <sub>B</sub> " einer 5-Blatt, wenn eine 2-Blatt mit "D <sub>A</sub> " gegeben ist?<br>$D_{5\text{-Blatt}} = 0,5m \sqrt[4]{\frac{2}{5}} = 0,398m;$                                |
| <b>D</b><br>Durchm.   | $P_{B\text{ welle}} = P_{A\text{ welle}} \left(\frac{D_B}{D_A}\right)^5;$ | Scalefaktor: $\frac{D_B}{D_A} = \frac{T_B}{T_A} = \frac{G_B}{G_A}$<br>Blattzahl "B"<br>Steigung "H"<br>Drehzahl "n" | T = Profieltiefe<br>G = Geometrie-<br>maße | Welche Leistung "P <sub>B</sub> " braucht eine 3-Blatt mit "D <sub>B</sub> ", wenn ihr "P <sub>A</sub> " bei "D <sub>A</sub> " bekannt ist?<br>$P_{3\text{-Blatt}} = 90W \left(\frac{40}{20}\right)^5 = 2880W;$ |
| <b>H</b><br>Steigung  | $P_{B\text{ welle}} = P_{A\text{ welle}} \frac{H_B}{H_A};$                | Blattzahl "B"<br>Drehzahl "n"<br>Blattgeometrie<br>Durchm. "D"  |  | Welche Leistung "P <sub>B</sub> " braucht ein Propellert mit "H <sub>B</sub> ", wenn "P <sub>A</sub> " bei "H <sub>A</sub> " bekannt ist?<br>$P_{3\text{-Blatt}} = 60W \frac{24}{12} = 120W;$                   |