

Entwurf von Propellern mittels potentialtheoretischer Verfahren SoSe17

Lehrstuhl für Strömungsmaschinen

Inhaltsverzeichnis

1. Der Schiffspropeller

2. Physikalische Theorien

- a) Strahltheorie des Propellers
- b) Profiltheorie des Propellerblattes
- c) Wirbeltheorie des Propellers

3. Allgemeines Entwurfskonzept

4. ENT-Fix –Entwurfsprogramm

Der Schiffpropeller

Allgemeines

- häufigstes Propulsionsorgan bei Schiffen
 - verschiedene Typen:
 - Verstellpropeller
 - Düsenpropeller
 - Ruderpropeller
 - **Festpropeller**
- Schraubenpropeller – gleiches Wirkprinzip

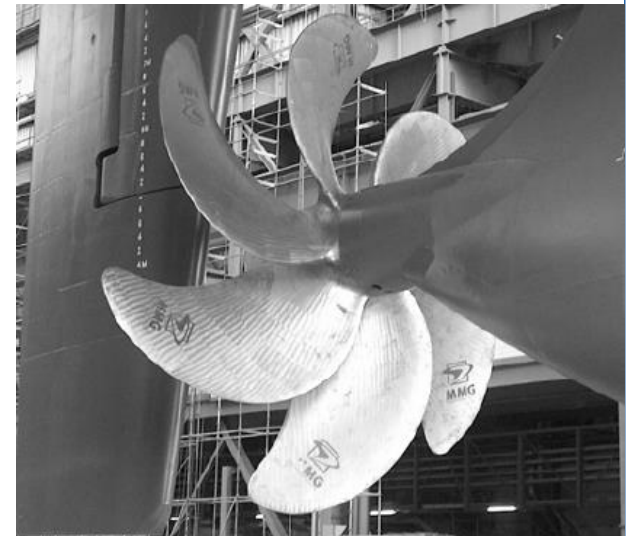


Kornev.: „Propellertheorie“

Der Schiffpropeller

Allgemeines

- häufigstes Propulsionsorgan bei Schiffen
 - verschiedene Typen:
 - Verstellpropeller
 - Düsenpropeller
 - Ruderpropeller
 - **Festpropeller**
- Schraubenpropeller – gleiches Wirkprinzip
- Aufgaben bzw. Effekte des Propellers:
 - **Schub für Fahrt → Antriebsorgan**
 - Manövrierorgan
 - Geräusch- und Vibrationsquelle
 - Teil der Maschinenanlage



Kornev.: „Propellertheorie“

Der Schiffpropeller

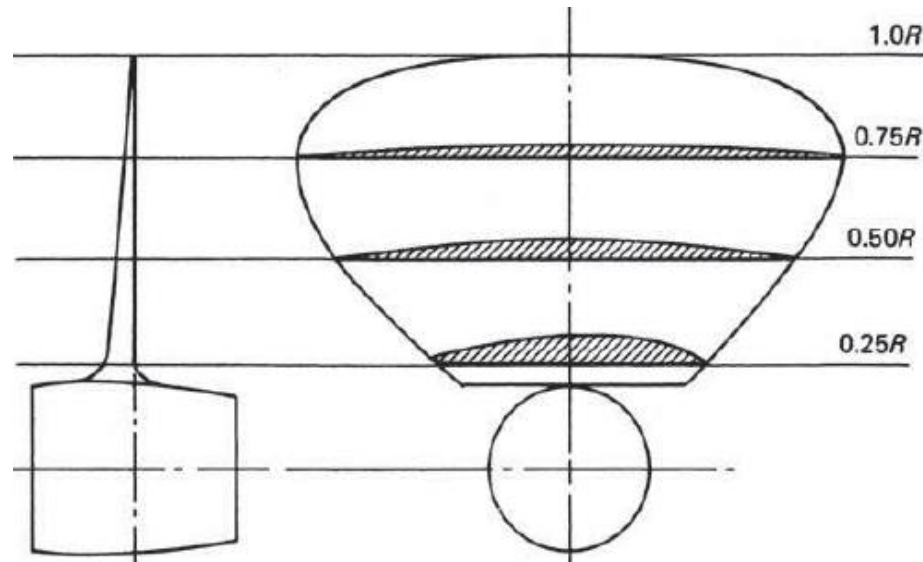
Geometrie und Kenndaten des Schiffspellers

Geometrie

- Durchmesser und Nabendurchmesser
- Flügelzahl
- Steigung
- Profildaten
- Skew
- Rake

Kenndaten

- Schub
- Drehmoment
- Drehzahl
- Vortriebsgeschwindigkeit
- Wirkungsgrad



Carlton: „Marine Propellers and Propulsion“

Der Schiffpropeller

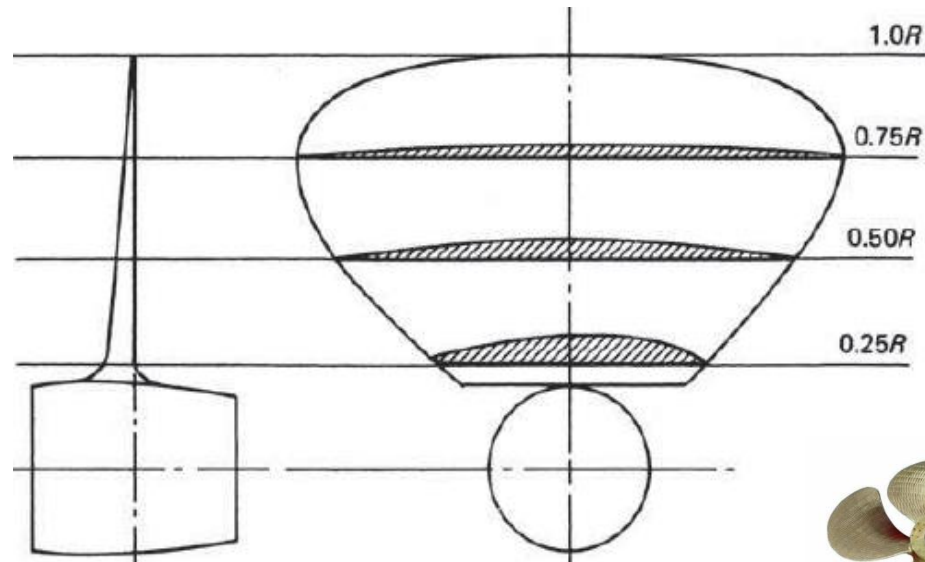
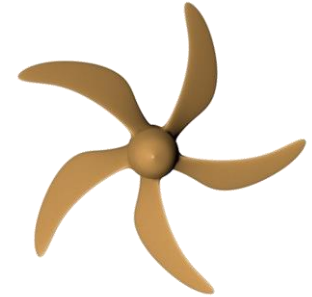
Geometrie und Kenndaten des Schiffspellers

Geometrie

- Durchmesser und Nabendurchmesser
- **Flügelzahl**
- Steigung
- Profildaten
- Skew
- Rake

Kenndaten

- Schub
- Drehmoment
- Drehzahl
- Vortriebsgeschwindigkeit
- Wirkungsgrad



Carlton: „Marine Propellers and Propulsion“



Der Schiffpropeller

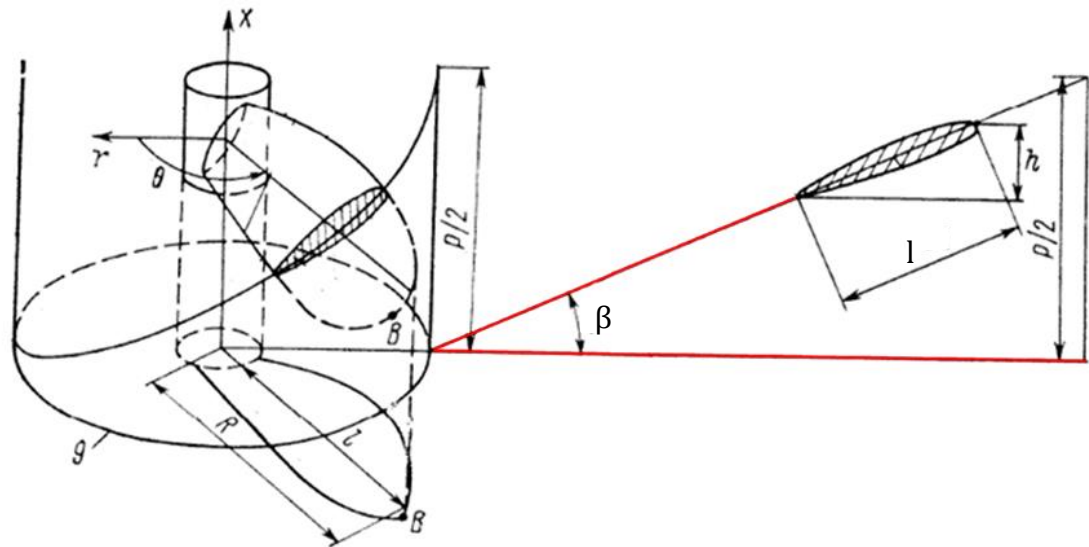
Geometrie und Kenndaten des Schiffspropellers

Geometrie

- Durchmesser und Nabendurchmesser
- Flügelzahl
- **Steigung**
- Profildaten
- Skew
- Rake

Kenndaten

- Schub
- Drehmoment
- Drehzahl
- Vortriebsgeschwindigkeit
- Wirkungsgrad



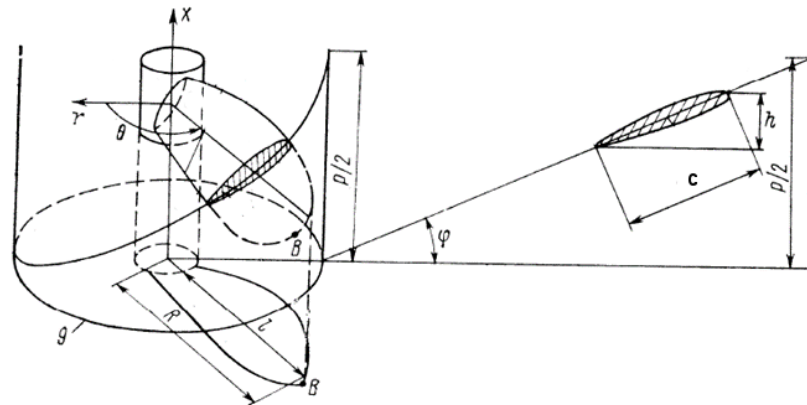
Kornev.: „Propellertheorie“

Der Schiffpropeller

Geometrie und Kenndaten des Schiffpropellers

Geometrie

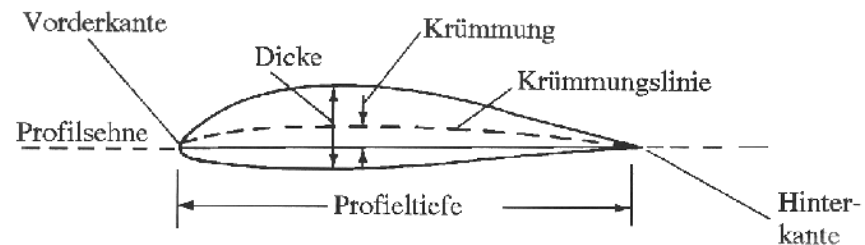
- Durchmesser und Nabendurchmesser
- Flügelzahl
- Steigung
- **Profildaten (Länge, Dicke, Wölbung über Radius)**
- Skew
- Rake



Kornev.: „Propellertheorie“

Kenndaten

- Schub
- Drehmoment
- Wirkungsgrad
- Drehzahl
- Vortriebsgeschwindigkeit



Rill.: „Aerodynamik des Flugzeuges“

Der Schiffpropeller

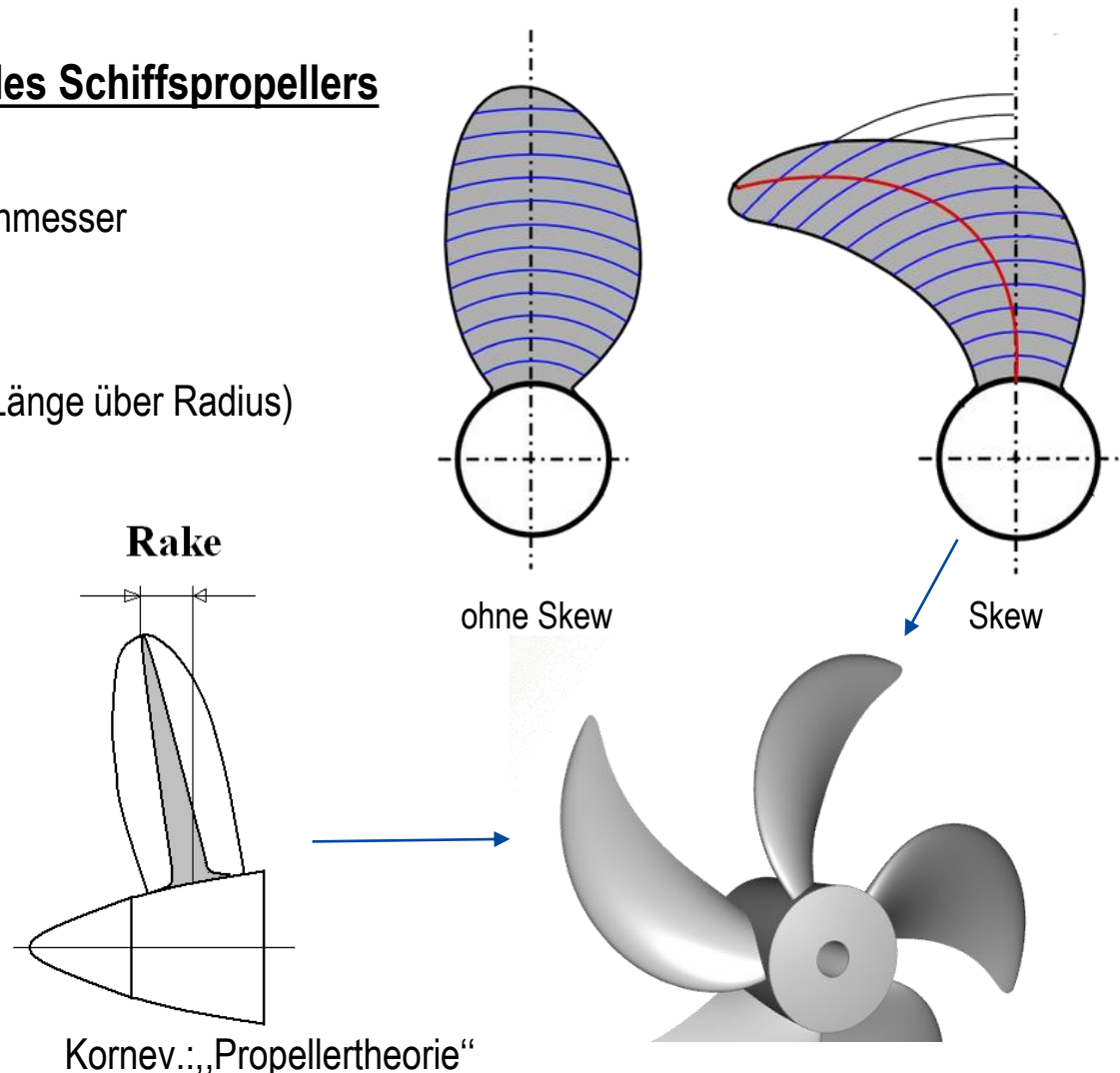
Geometrie und Kenndaten des Schiffspropellers

Geometrie

- Durchmesser und Nabendurchmesser
- Flügelzahl
- Steigung
- Profildaten (Dicke, Wölbung, Länge über Radius)
- **Skew**
- **Rake**

Kenndaten

- Schub
- Drehmoment
- Drehzahl
- Vortriebsgeschwindigkeit
- Wirkungsgrad



Der Schiffpropeller

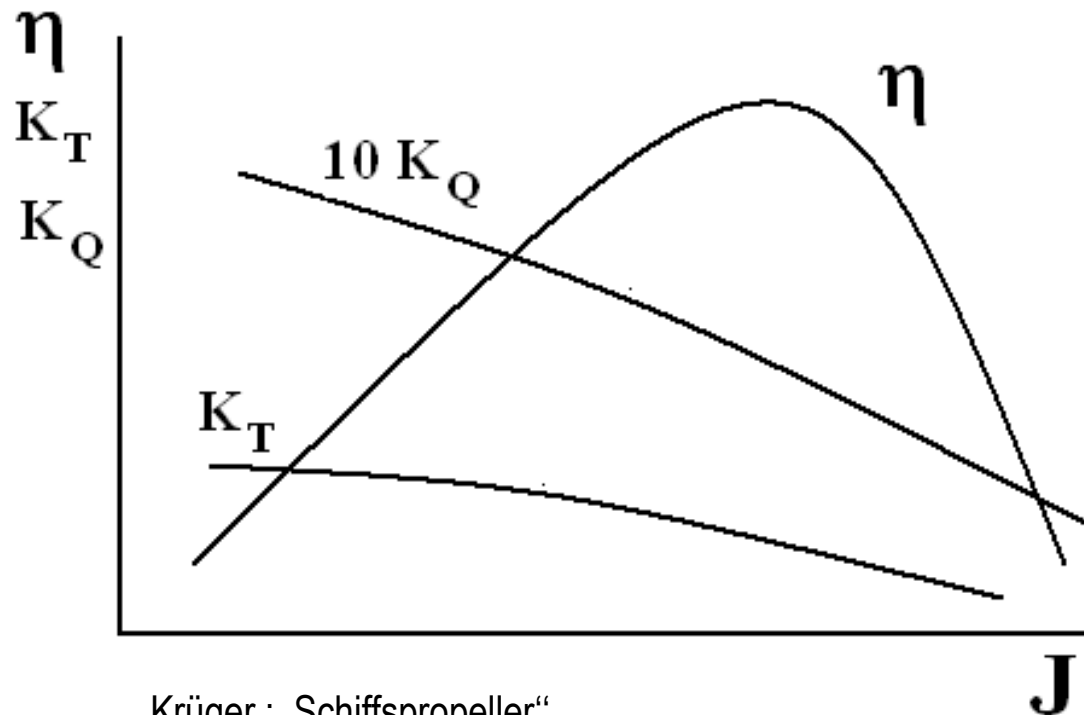
Geometrie und Kenndaten des Schiffpropellers

Geometrie

- Durchmesser und Nabendurchmesser
- Flügelzahl
- Steigung
- Profildaten
- Skew
- Rake

Kenndaten

- Schub
- Drehmoment
- Wirkungsgrad
- Drehzahl
- Vortriebsgeschwindigkeit



Krüger: „Schiffspropeller“

Inhaltsverzeichnis

1. Der Schiffspropeller
- 2. Physikalische Theorien**
 - a) Strahltheorie des Propellers**
 - b) Profiltheorie des Propellerblattes
 - c) Wirbeltheorie des Propellers
3. Allgemeines Entwurfskonzept
4. ENT-Fix – Entwurfsprogramm



Physikalische Theorien

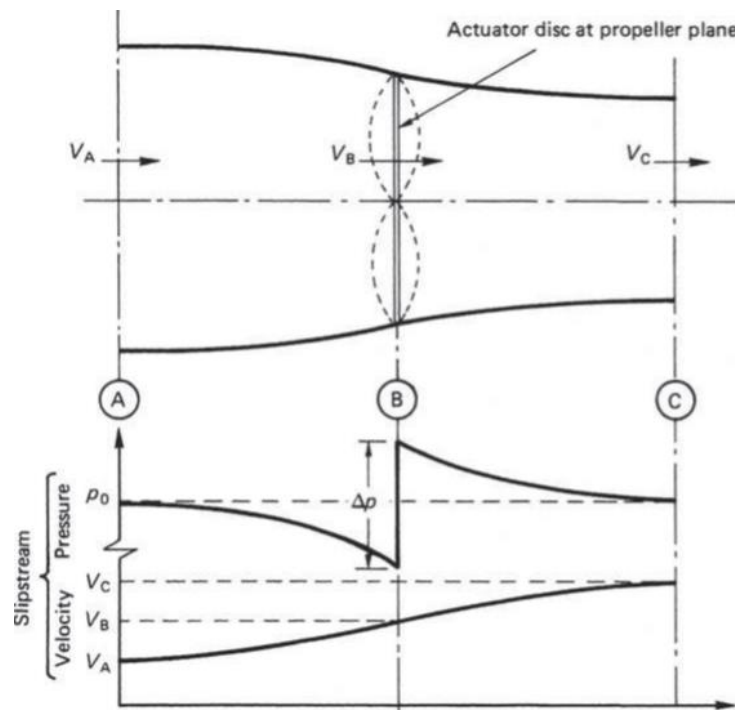
Antriebsorgan

- Aufgabe: Drehleistung $2\pi Qn$ optimal in Schubleistung Sv_a umwandeln

Physikalische Theorien

Antriebsorgan

- Aufgabe: Drehleistung $2\pi Qn$ optimal in Schubleistung Sv_a umwandeln
- Wirkweise durch zwei Anschauungen:
 - **Impulsbetrachtung** → Strahltheorie



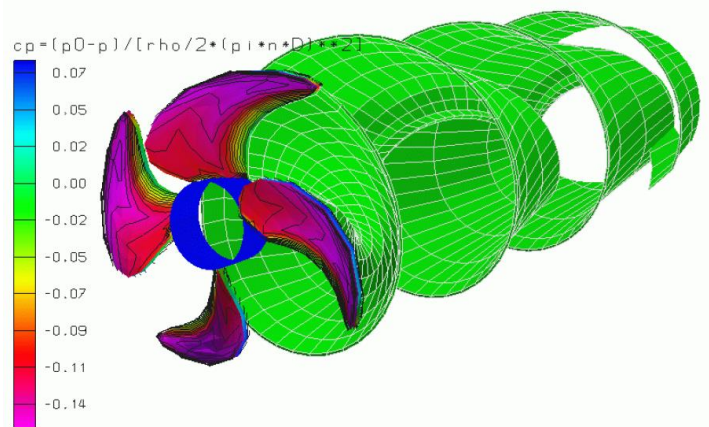
- Propeller = Kreisscheibe
- Propellerwirkung auf Geschwindigkeit und Druck im Strömungsfeld (Stromröhre)
- Berechnung Schub, Schubleistung, Drall, Vortriebswirkungsgrad, ...

Carlton: „Marine Propellers and Propulsion“

Physikalische Theorien

Antriebsorgan

- Aufgabe: Drehleistung $2\pi Qn$ optimal in Schubleistung Tv_a umwandeln
- Wirkweise durch zwei Anschauungen:
 - Impulsbetrachtung → Strahltheorie
 - **Tragflügelbetrachtung → Profil- (2D) & Wirbeltheorie (3D)**



Krüger: „Schiffspropeller“

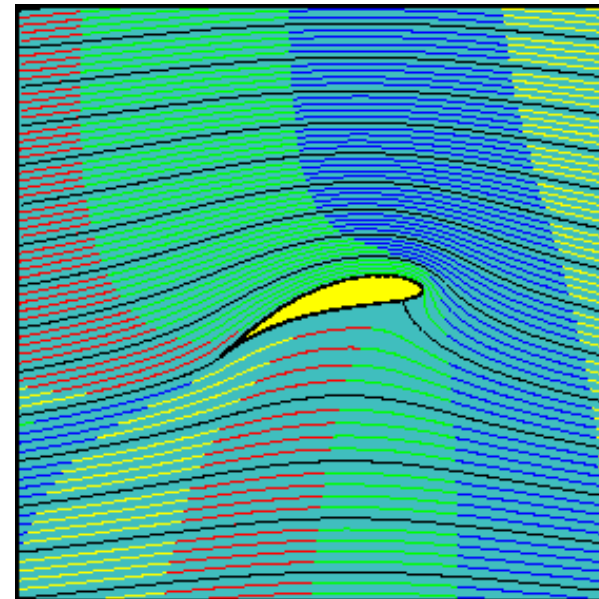
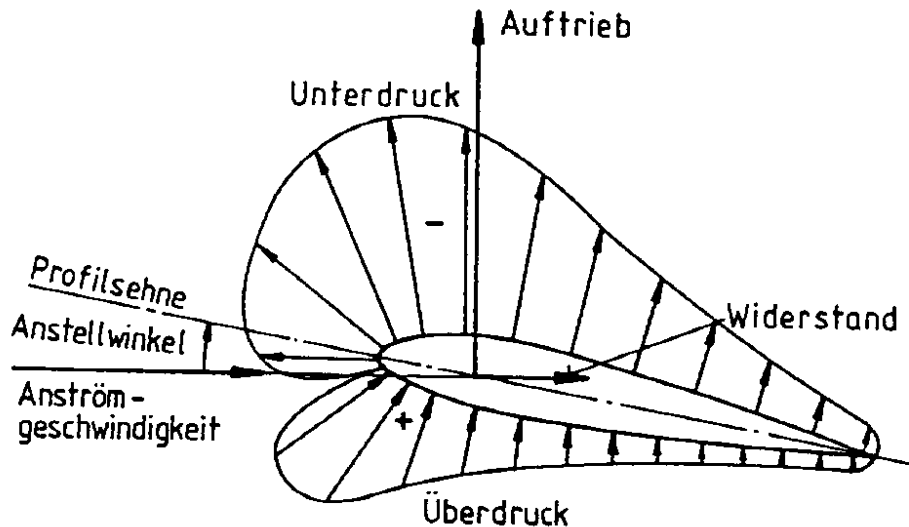
Inhaltsverzeichnis

1. Der Schiffspropeller
2. Physikalische Theorien
 - a) Strahltheorie des Propellers
 - b) Profiltheorie des Propellerblattes**
 - c) Wirbeltheorie des Propellers
3. Allgemeines Entwurfskonzept
4. ENT-Fix – Entwurfsprogramm

Physikalische Theorien

Profiltheorie

- Propellerflügel = Tragflügelprofil mit variabler Geometrie in radialer Richtung
 - **Druckverteilung entlang der Körperoberfläche**
 - Verteilung der Scherspannungen auf der Körperoberfläche
- } Entstehung:
hydrodynamische Kräfte

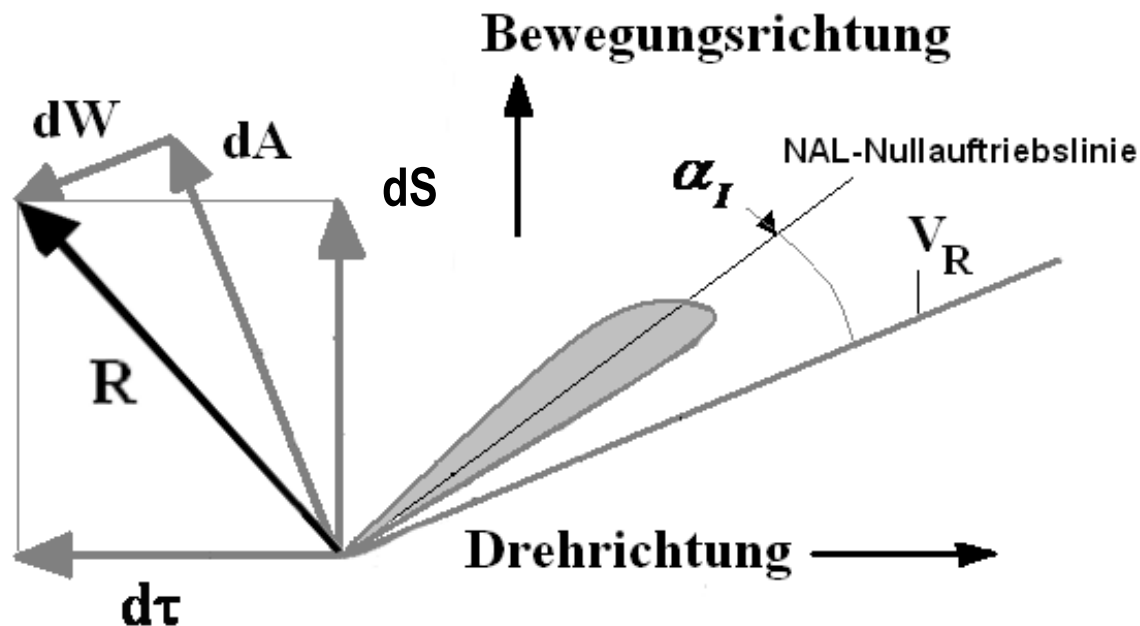


Rill: „Aerodynamik des Flugzeuges“

Theorien des Entwurfes

Profiltheorie

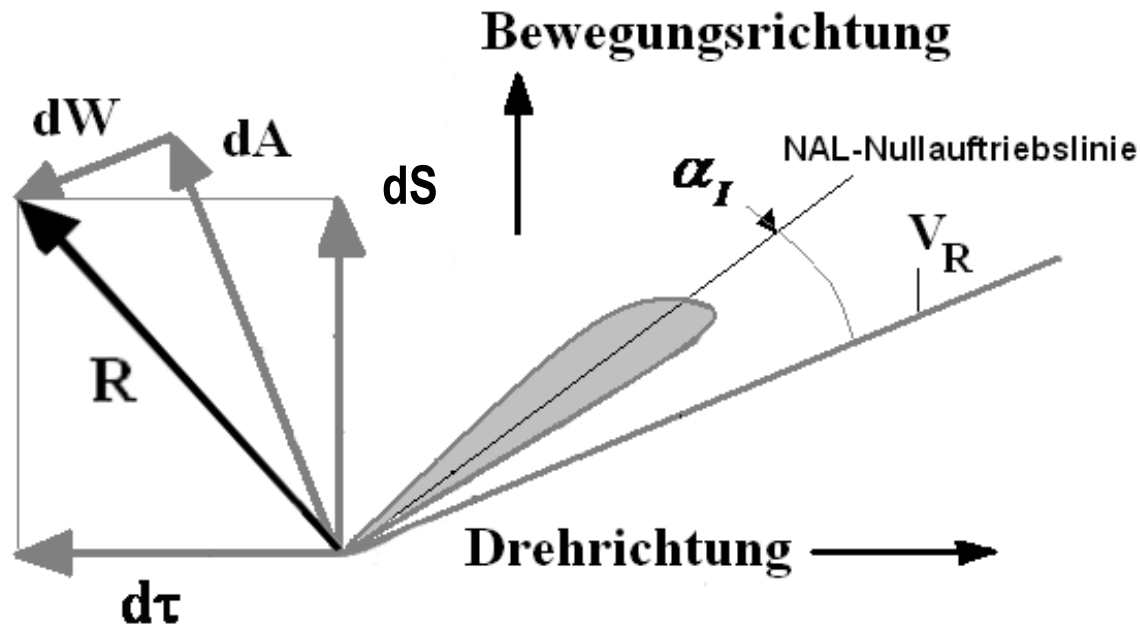
- Integration der Verteilung von Druck und Scherspannung:
 - Resultierende hydrodynamische Kraft R



Theorien des Entwurfes

Profiltheorie

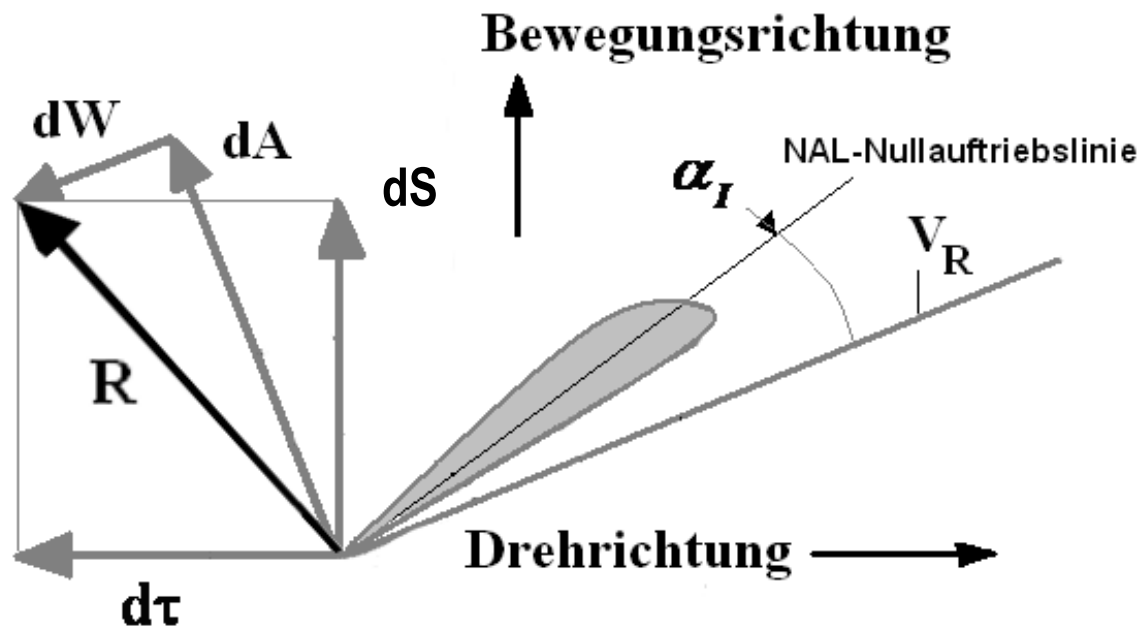
- Integration der Verteilung von Druck und Scherspannung:
 - Resultierende hydrodynamische Kraft $\mathbf{R}$
 - Auftrieb $\mathbf{A}$ = Komponente v. $\mathbf{R}$ senkrecht zu $\mathbf{V_R}$



Theorien des Entwurfes

Profiltheorie

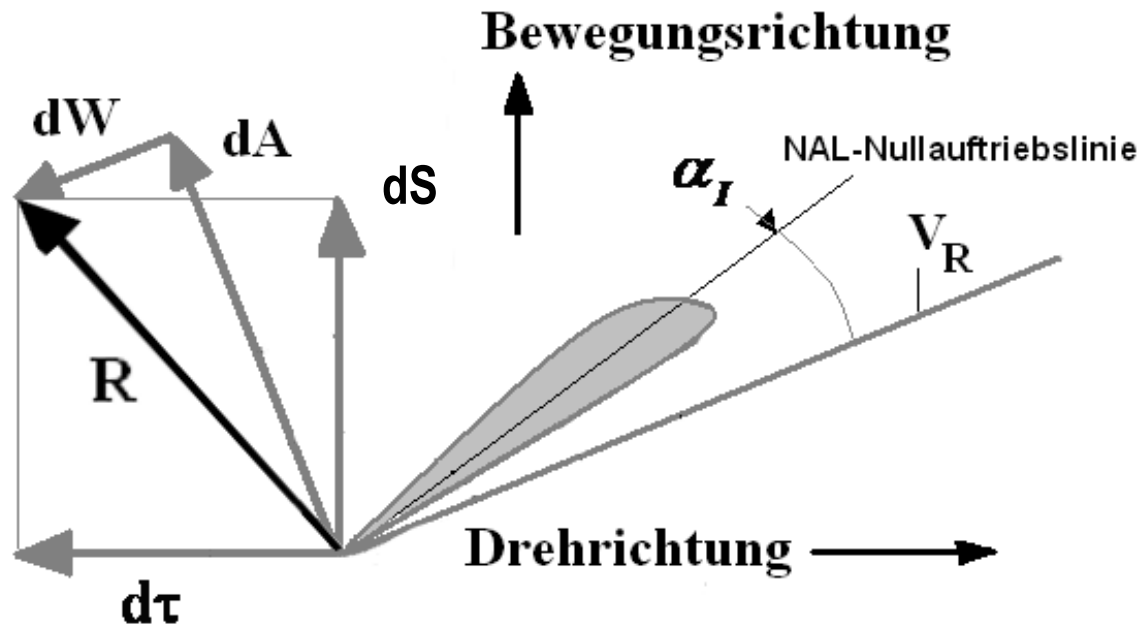
- Integration der Verteilung von Druck und Scherspannung:
 - Resultierende hydrodynamische Kraft $\mathbf{R}$
 - Auftrieb $\mathbf{A}$ = Komponente v. $\mathbf{R}$ senkrecht zu $\mathbf{V}_R$
 - Schub $\mathbf{S}$ = Komponente v. $\mathbf{A}$ (und $\mathbf{W}$) in axialer Richtung



Theorien des Entwurfes

Profiltheorie

- Integration der Verteilung von Druck und Scherspannung:
 - Resultierende hydrodynamische Kraft $\mathbf{R}$
 - Auftrieb $\mathbf{A}$ = Komponente v. $\mathbf{R}$ senkrecht zu $\mathbf{V}_R$
 - Schub $\mathbf{S}$ = Komponente v. $\mathbf{A}$ (und $\mathbf{W}$) in axialer Richtung
- Entstehung des Auftriebs durch Zirkulation erklärbar
→ **Wirbeltheorie**



Inhaltsverzeichnis

1. Der Schiffspropeller
2. Physikalische Theorien
 - a) Strahltheorie des Propellers
 - b) Profiltheorie des Propellerblattes
 - c) Wirbeltheorie des Propellers**
3. Allgemeines Entwurfskonzept
4. ENT-Fix – Entwurfsprogramm

Theorien des Entwurfes

Wirbeltheorie

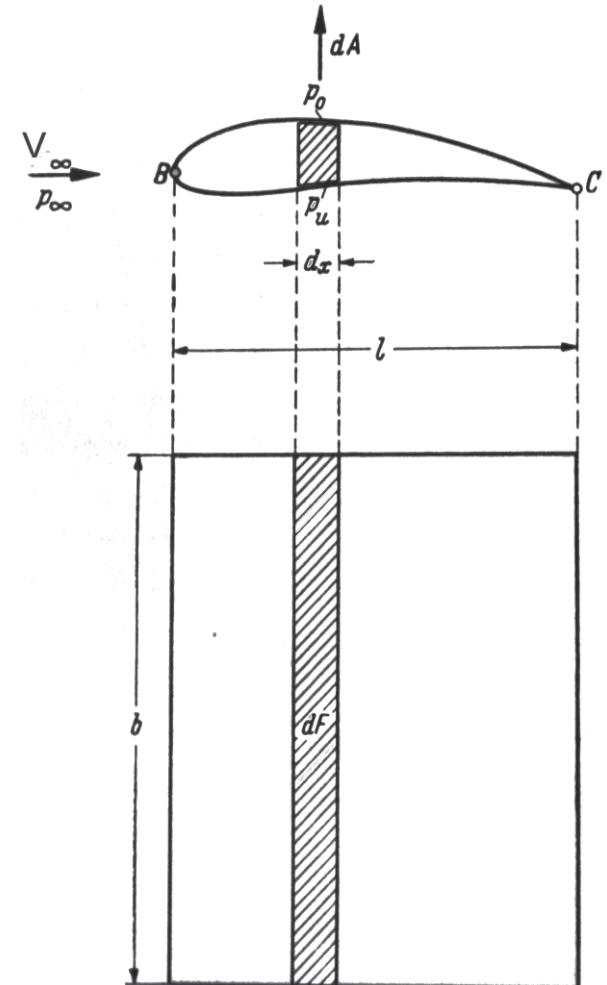
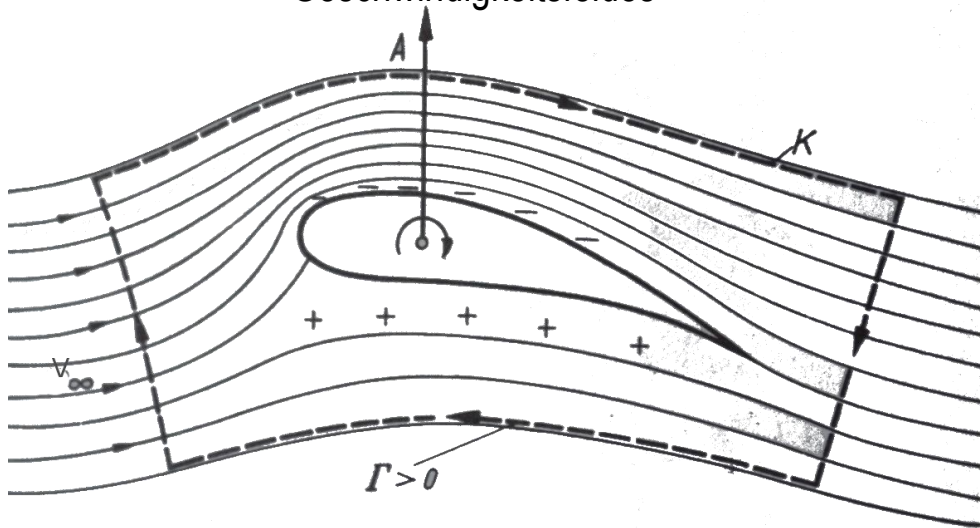
- Erklärung der Entstehung des Auftriebs **A** durch Zirkulation Γ

- **Zirkulation Γ :**

- Linienintegral von $\vec{V}$ längs einer geschlossenen Kurve

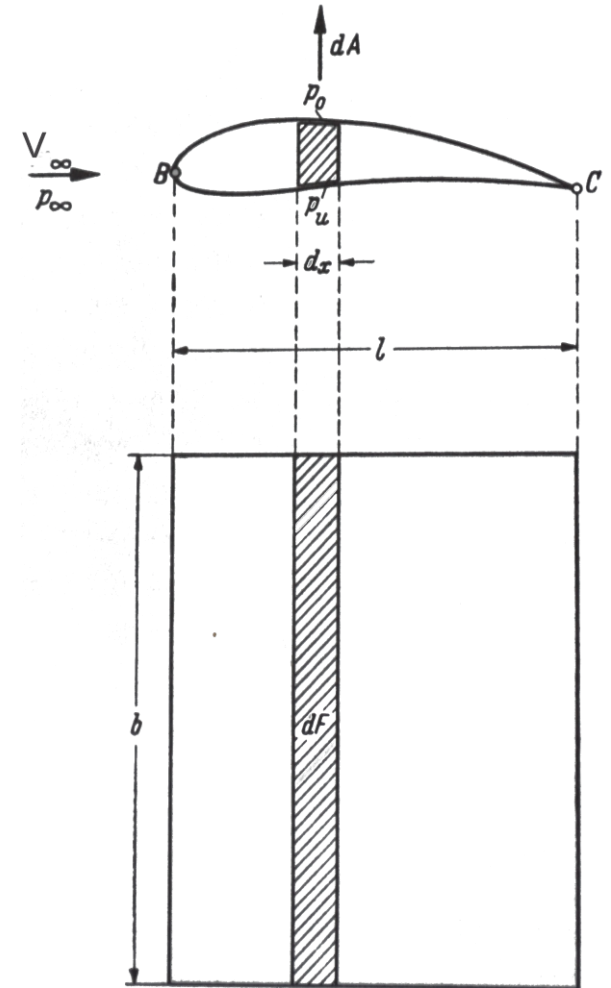
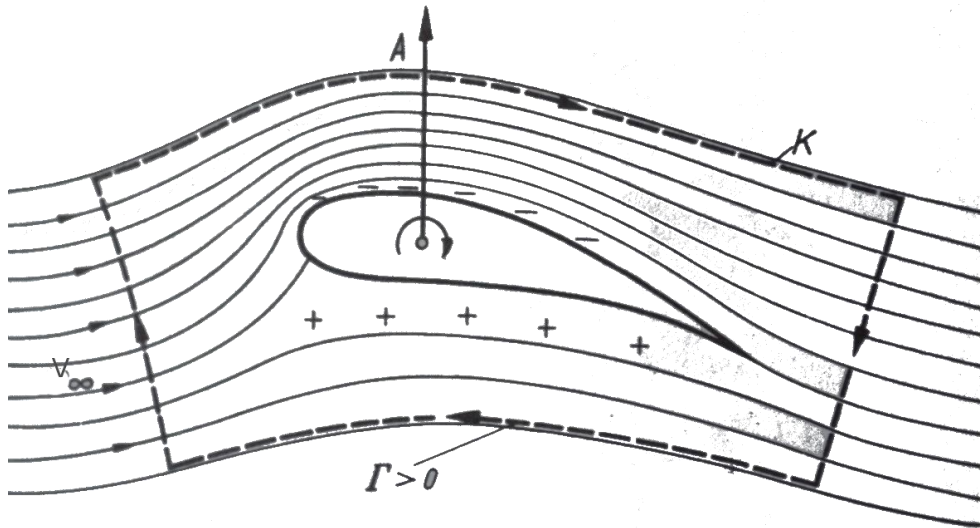
$$\Gamma = \oint_{(K)} \vec{V} \circ d\vec{s}$$

- Auftriebserzeugung $\rightarrow$ Zusammenhang mit Zirkulation des Geschwindigkeitsfeldes



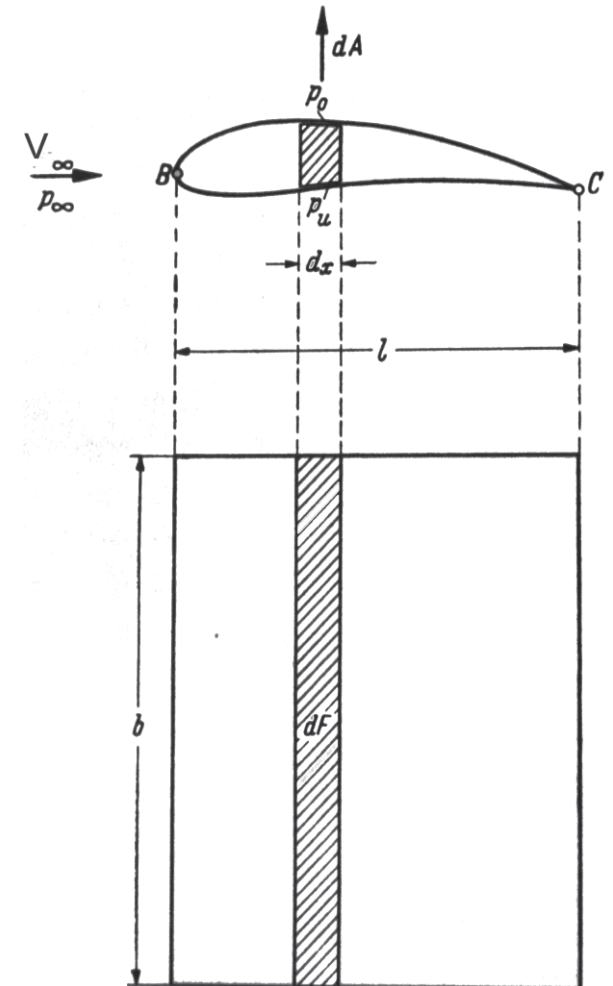
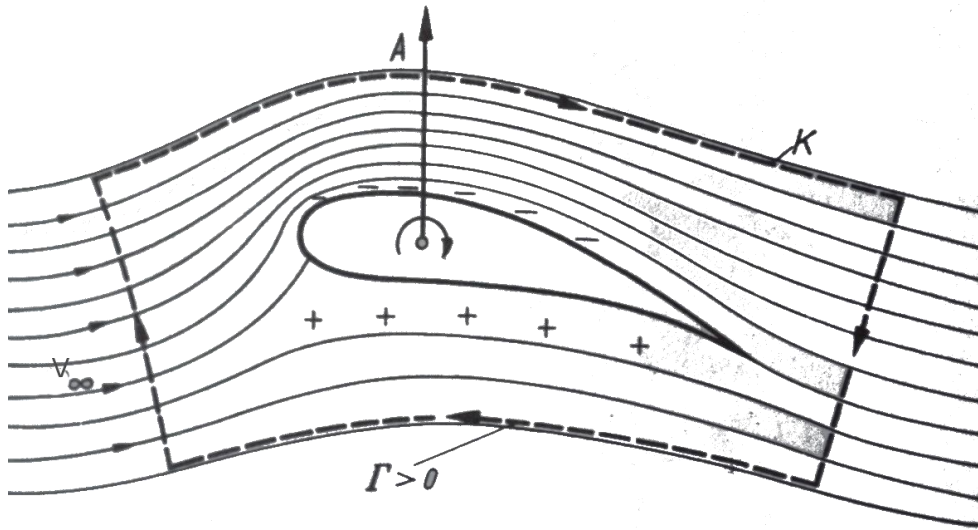
Zirkulation Γ und Auftrieb A

- Kutta – Joukowski – Theorem:
 - Auftrieb des Teilabschnittes: $dA = (p_u - p_o)dF$



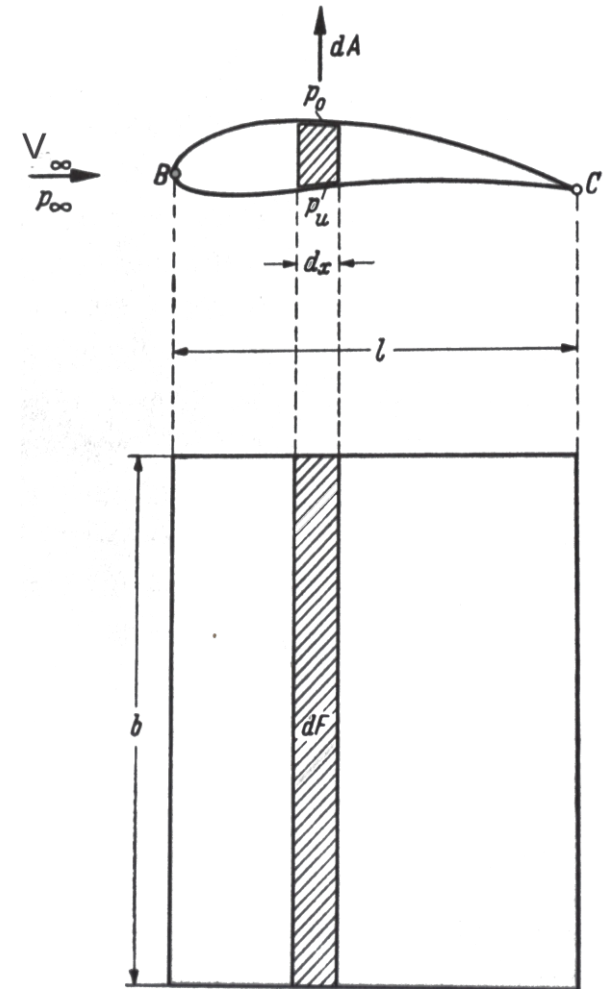
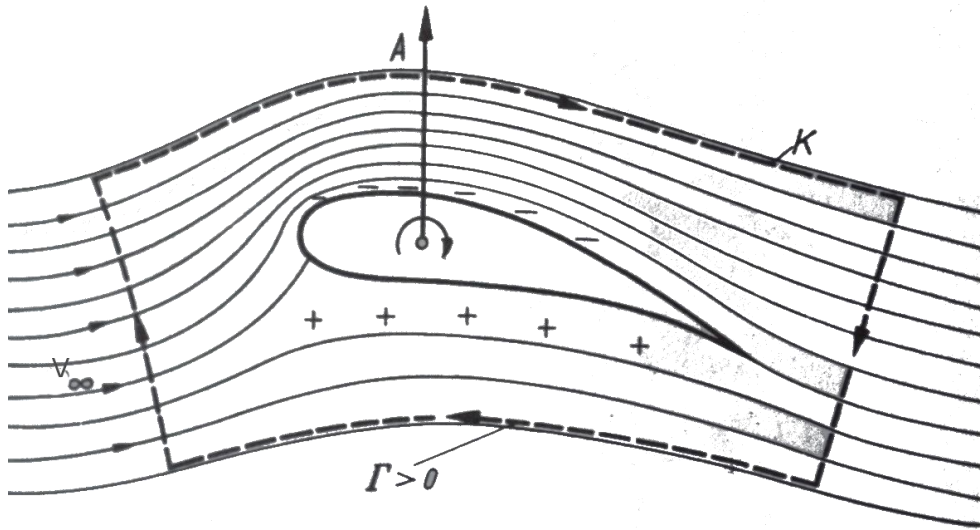
Zirkulation Γ und Auftrieb A

- Kutta – Joukowski – Theorem:
 - Auftrieb des Teilabschnittes: $dA = (p_u - p_o)dF$
 - Gesamtauftrieb : $A = \int_{(F)} (p_u - p_o)dF = b \int_B^C (p_u - p_o)dx$



Zirkulation Γ und Auftrieb A

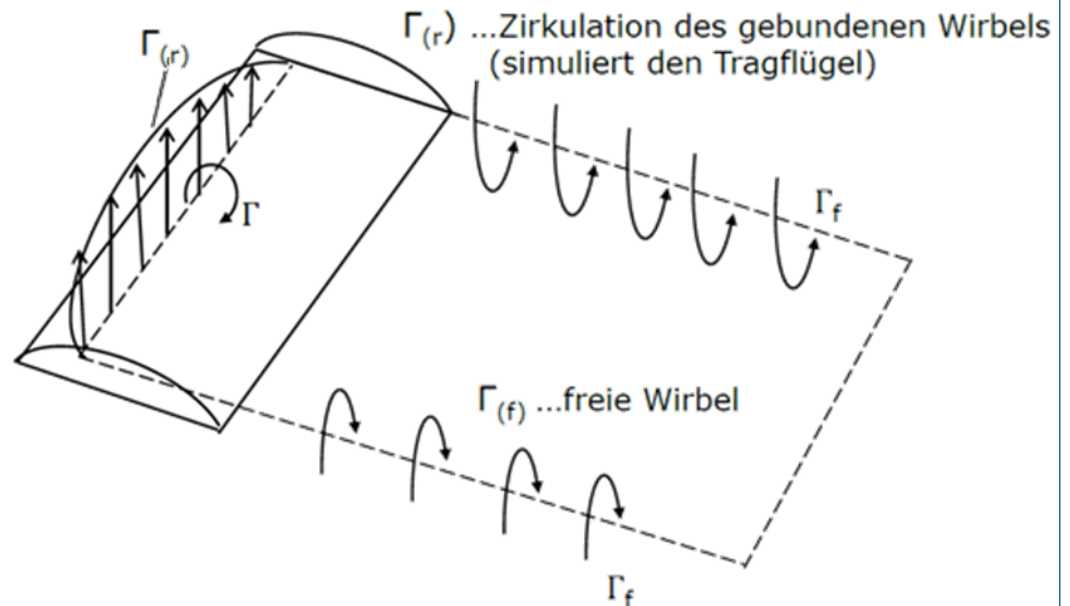
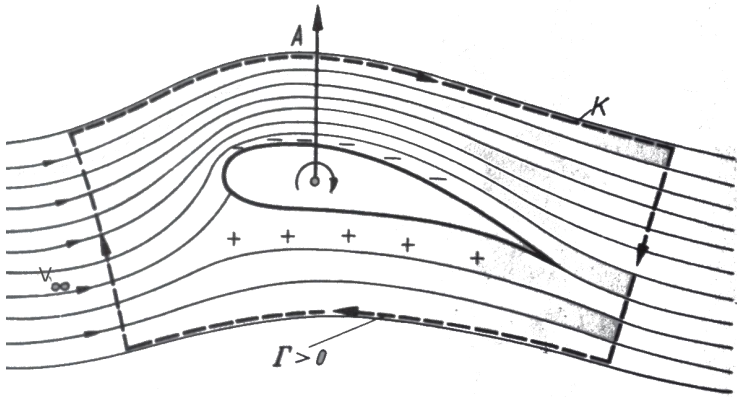
- Kutta – Joukowski – Theorem:
 - Auftrieb des Teilabschnittes: $dA = (p_u - p_o)dF$
 - Gesamtauftrieb : $A = \int_{(F)} (p_u - p_o)dF = b \int_B^C (p_u - p_o)dx$
 - mit Bernoulli: $p_u - p_o = 2\rho V_\infty \Delta V \rightarrow A = 2\rho b V_\infty \int_B^C \Delta V dx$



Theorien des Entwurfes

Zirkulation Γ und Wirbelsätze

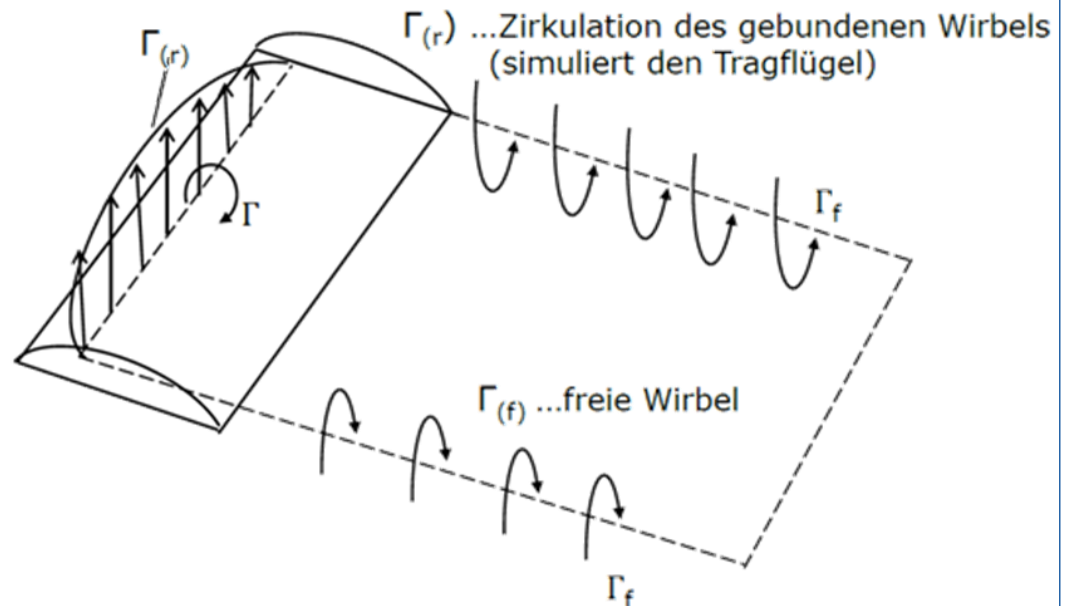
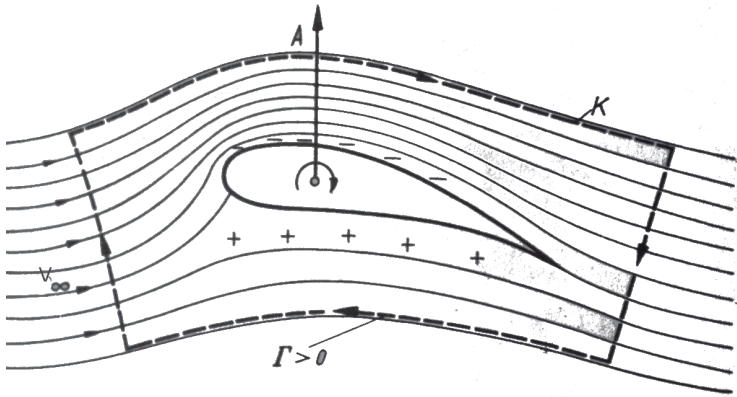
- Zirkulation: Eigenschaft eines Potentialwirbels
- Auftriebserzeugung $\rightarrow$ gebundener Wirbel mit variabler Zirkulation
- Wirbelerhaltung $\rightarrow$ 2 freie Wirbel an Flügelenden
- Wirbelsystem = Hufeisenwirbel



Theorien des Entwurfes

Zirkulation Γ und Wirbelsätze

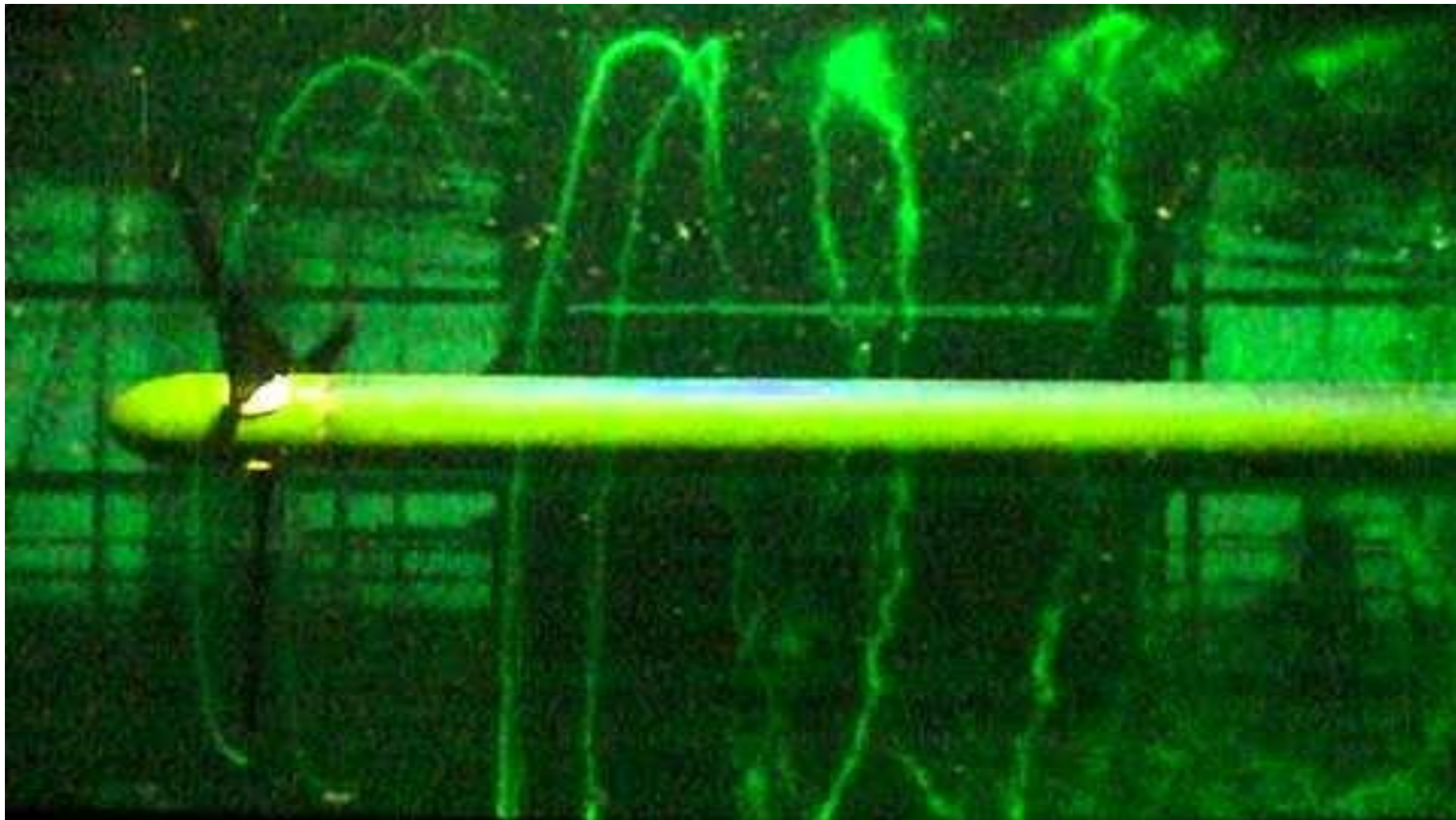
- Zirkulation: Eigenschaft eines Potentialwirbels
 - Auftriebserzeugung $\rightarrow$ gebundener Wirbel mit variabler Zirkulation
 - Wirbelerhaltung $\rightarrow$ 2 freie Wirbel an Flügelenden
 - Wirbelsystem = Hufeisenwirbel
- $\rightarrow$ Grundlage der Entwurfsprogramme mit potentialtheoretischen Ansatz



Theorien des Entwurfes

Zirkulation Γ bei Strömungsmaschinen

<https://www.youtube.com/watch?v=N3WwQKZ05Uk>



Inhaltsverzeichnis

1. Der Schiffspropeller
2. Physikalische Theorien
 - a) Strahltheorie des Propellers
 - b) Profiltheorie des Propellerblattes
 - c) Wirbeltheorie des Propellers
- 3. Allgemeines Entwurfskonzept**
4. ENT-Fix – Entwurfsprogramm

Allgemeines Entwurfskonzept

Entwurf eines Propellers

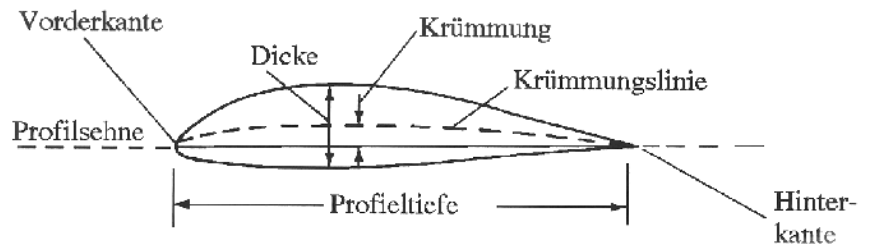
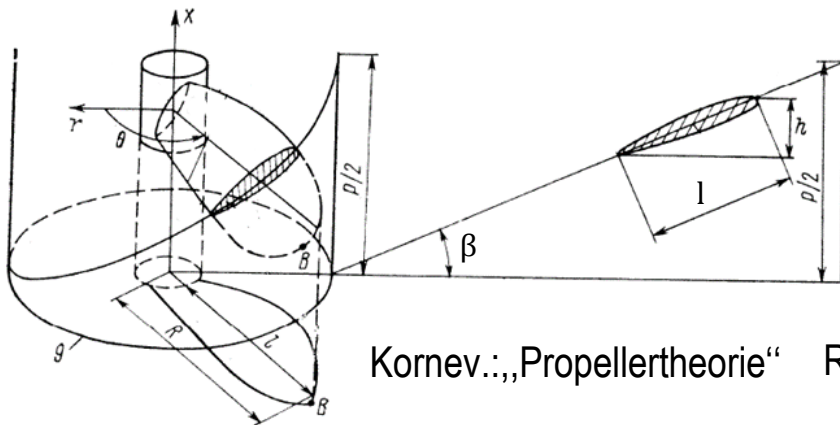
- gesucht:

Allgemeines Entwurfskonzept

Entwurf eines Propellers

- gesucht:
 - Geometrie und Lage des Propellerflügels in Abhängigkeit vom Radius **R** im Konstruktionspunkt:

• Profiltiefe	$l = f(R)$	}	um gewünschten Schub zu erzeugen
• Profildicke	$d = f(R)$		
• Profilwölbung	$w = f(R)$		
• Steigung $\rightarrow \beta$	$p/2 = f(R)$		

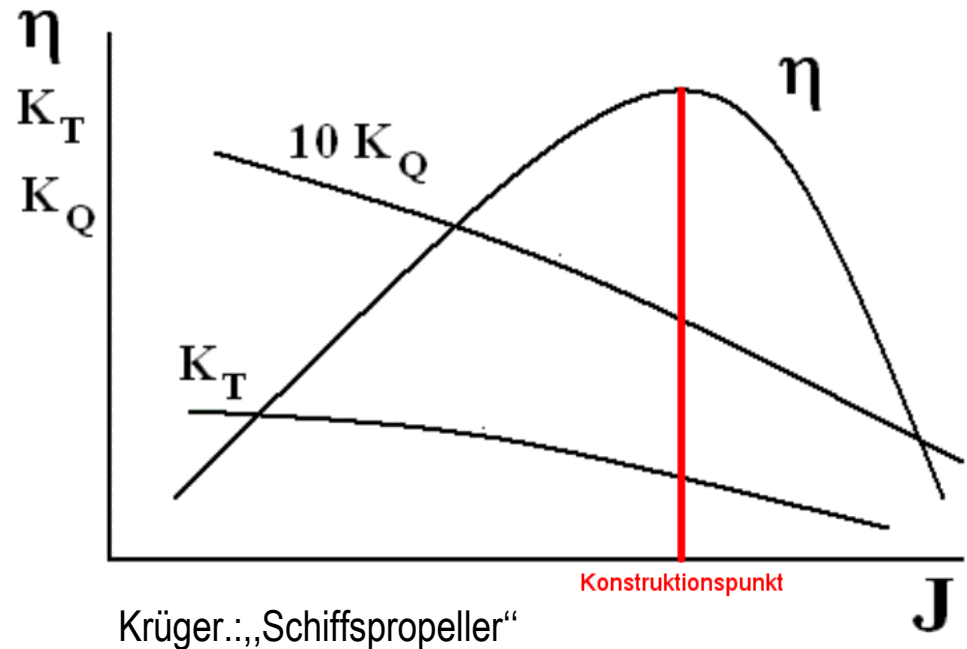


Kornev.: „Propellertheorie“ Rill.: „Aerodynamik des Flugzeuges“

Allgemeines Entwurfskonzept

Entwurf eines Propellers

- gegebene Kenndaten:
 - Vortriebsgeschwindigkeit des Schiffes V_A
 $\rightarrow J = f(V_A)$
 - Schub im Betriebspunkt S
 $\rightarrow K_T = f(S)$
 - Drehzahl n
 $\rightarrow J = f(n)$
- gegebene Geometrie:
 - Propellerdurchmesser D_A
 - Nabendurchmesser D_N
 - Flügelanzahl z



Allgemeines Entwurfskonzept

Hierarchie des Propellerentwurfs

Gegebene Daten aus Anforderung

- Vortriebsgeschwindigkeit, Drehzahl, Schiffsform, ...
- Vorentwurf: Schub, Durchmesser, Flügelzahl, ...

Allgemeines Entwurfskonzept

Hierarchie des Propellerentwurfs

Gegebene Daten aus Anforderung

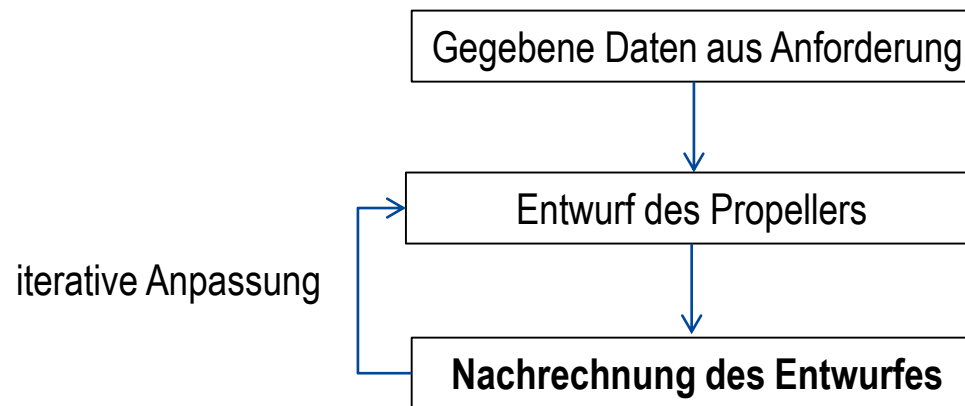


Entwurf des Propellers

mittels Entwurfsprogrammen (z.B.
ENT-Fix)

Allgemeines Entwurfskonzept

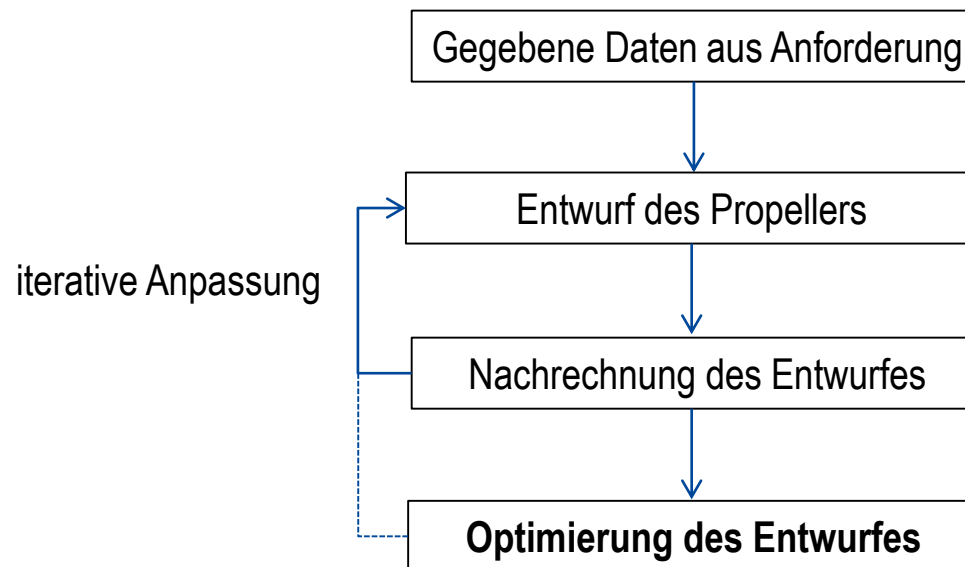
Hierarchie des Propellerentwurfs



- Methoden höherer Genauigkeit, z.B. Paneel-, Wirbelgitterverfahren (PRO-Mod)
- Kennfeldberechnung

Allgemeines Entwurfskonzept

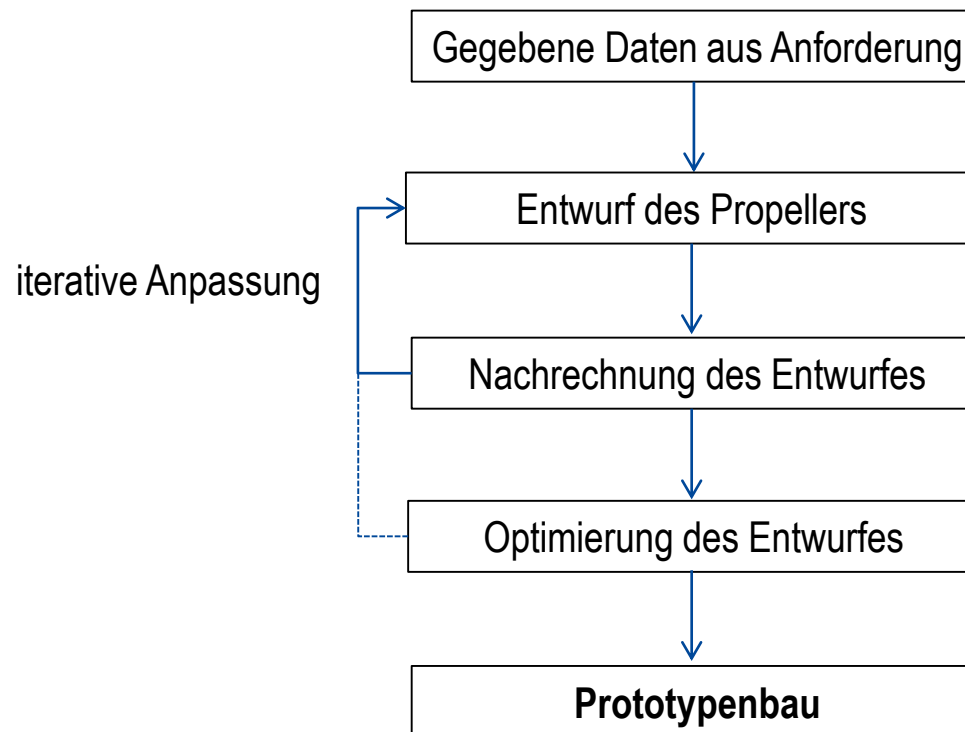
Hierarchie des Propellerentwurfs



- mittels CFD und FEM
- Akustik, Vibration, Kavitation, Belastung, System, ...

Allgemeines Entwurfskonzept

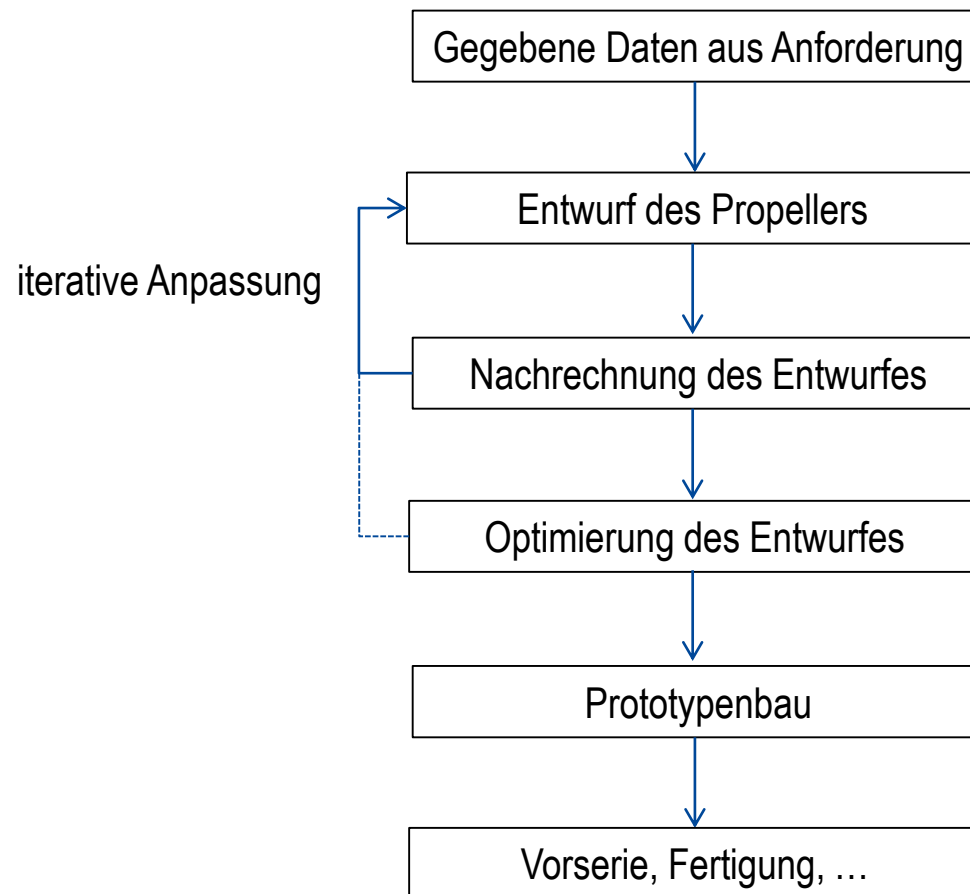
Hierarchie des Propellerentwurfs



- Experimentelle Untersuchung

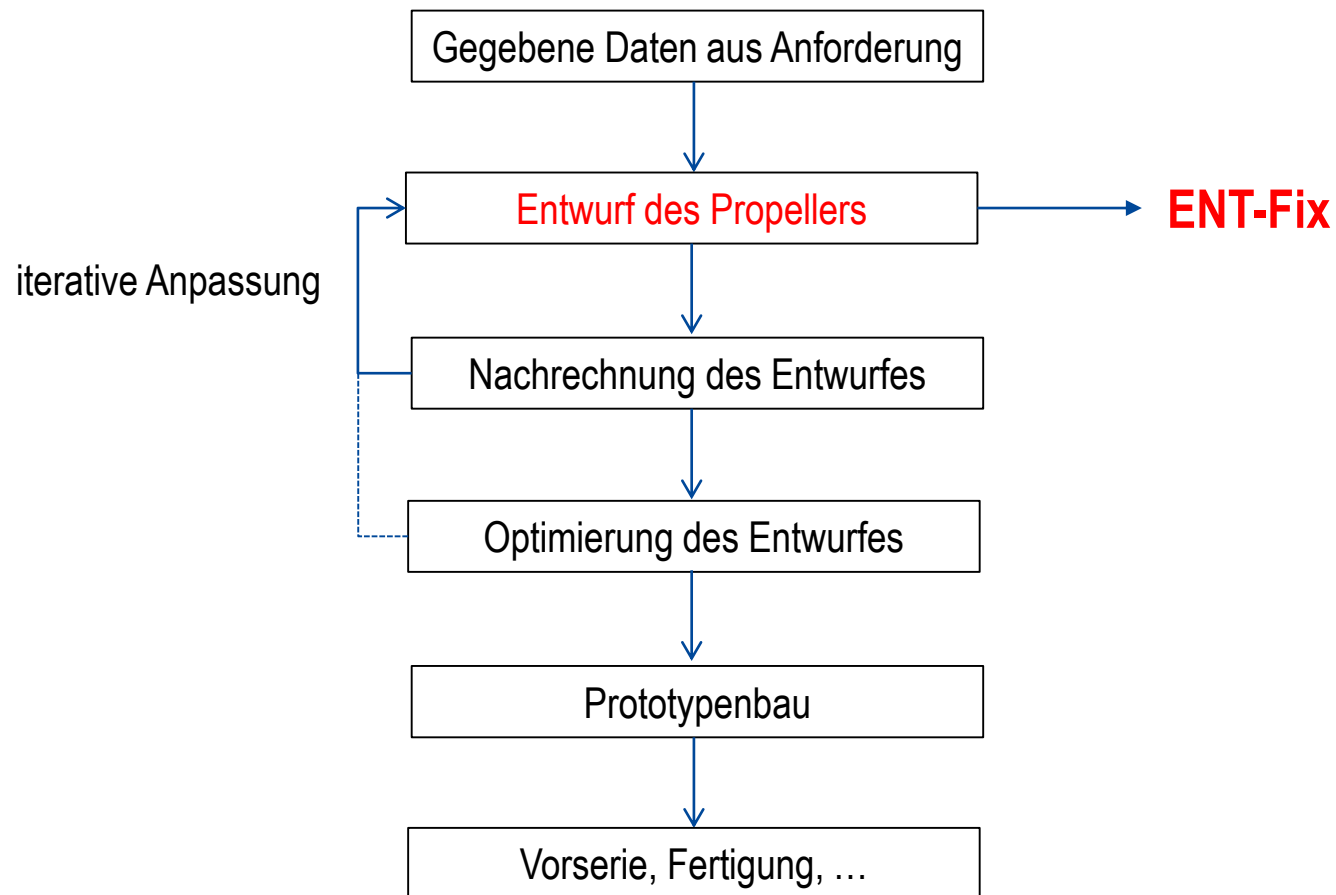
Allgemeines Entwurfskonzept

Hierarchie des Propellerentwurfs



Allgemeines Entwurfskonzept

Hierarchie des Propellerentwurfs

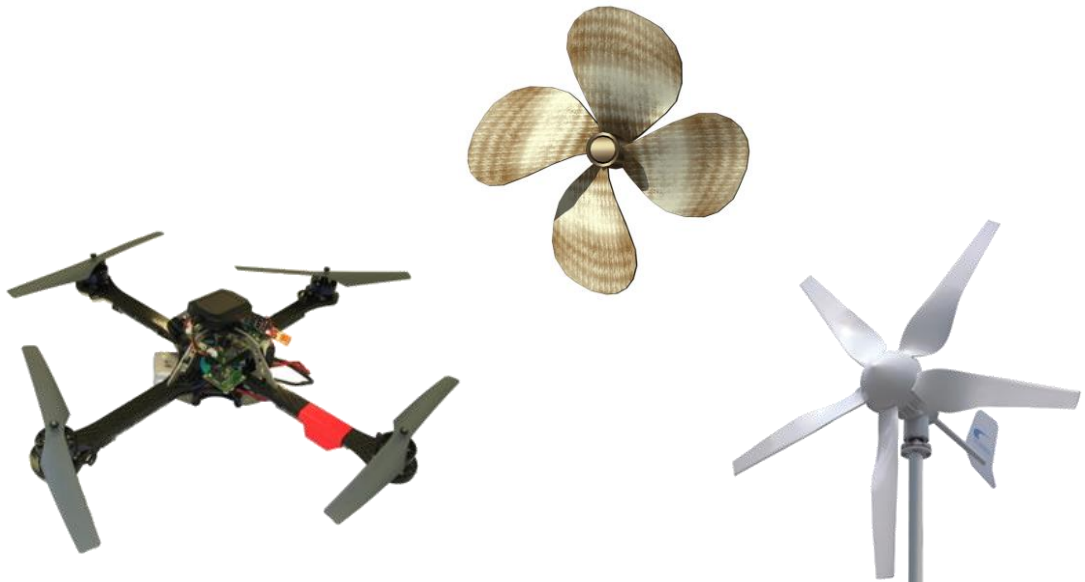


Inhaltsverzeichnis

1. Der Schiffspropeller
2. Physikalische Theorien
 - a) Strahltheorie des Propellers
 - b) Profiltheorie des Propellerblattes
 - c) Wirbeltheorie des Propellers
3. Allgemeines Entwurfskonzept
- 4. ENT-Fix – Entwurfsprogramm**

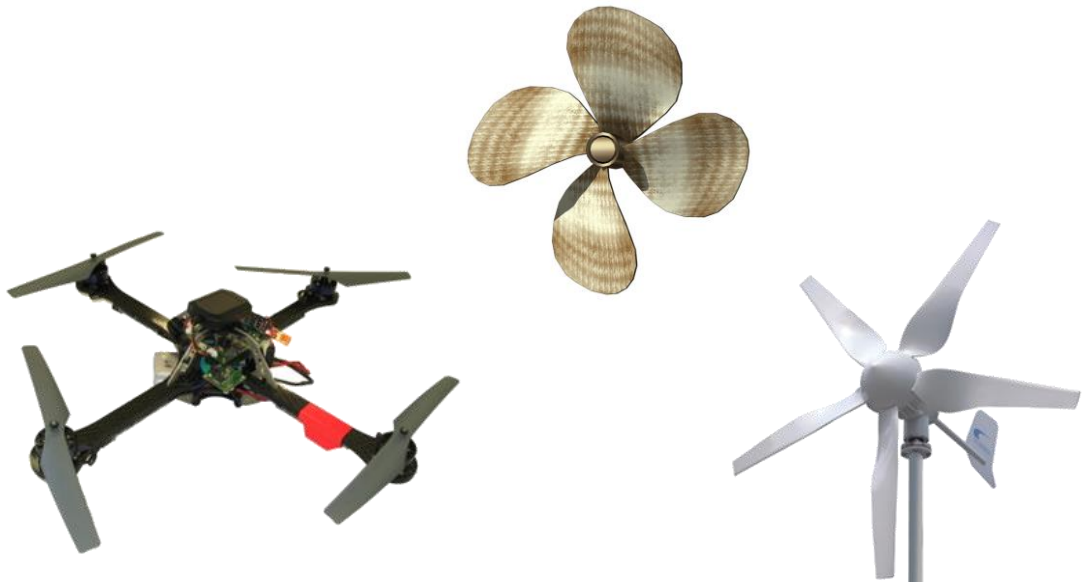
ENT-Fix

- Entwurfsprogramm des ITUs für einstufige, axiale, nicht-ummantelte Strömungsmaschinen



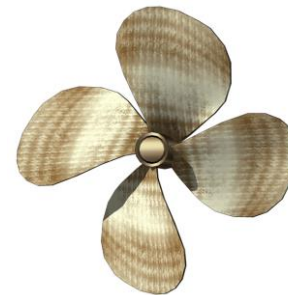
ENT-Fix

- Entwurfsprogramm des ITUs für einstufige, axiale, nicht-ummantelte Strömungsmaschinen
 - basierend auf Potentialtheorie:
 - reibungsfreie Strömung
 - drehungsfreie Strömung
 - Kontinuitätsgleichung bleibt erfüllt
- } bei Singularitäten nicht erfüllt (Potentialwirbel, Quellen, ...)

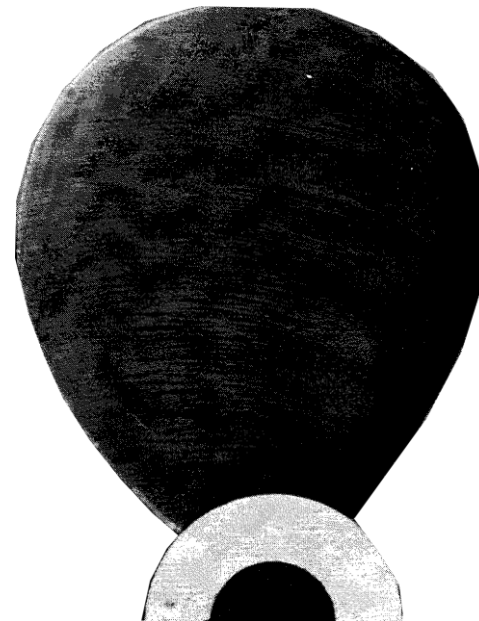


ENT-Fix

- Entwurfsprogramm des ITUs für einstufige, axiale, nicht-ummantelte Strömungsmaschinen
- Grundlegende physikalische Theorien:
 - Energiebilanz am Rotor
 - Strahltheorie
 - Traglinientheorie (Wirbeltheorie)
 - Profiltheorie
 - Modellelemente



Entwurf eines Schiffspropellers

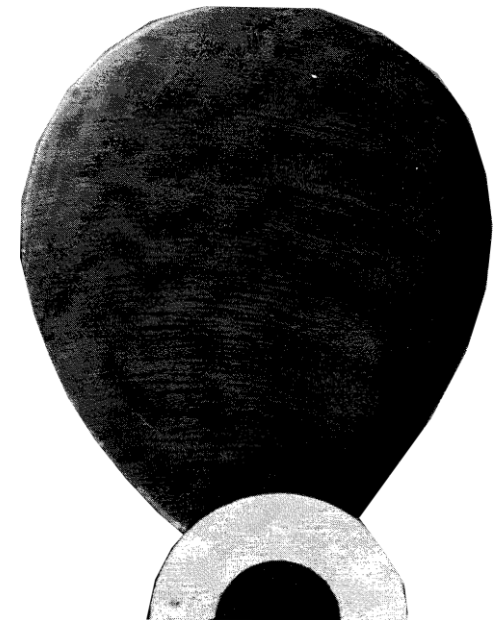


Entwurfsschritte

1. Vorentwurf

- Abschätzung durch gegebene Daten + Diagramme, Empirie, Erfahrung, ...:

Größe	z.B. aus Initialbedingung:
Drehzahl n	Antriebsmaschine, -strang
Vortriebsgeschwindigkeit v_a	Schiffsgeschwindigkeit
Schub S	Antriebsleistung, Schiffsform
Flügelzahl z	Einsatzbedingungen
Durchmesser D_a	Schiffsform, Einsatzbedingung,...
Nabendurchmesser D_N	Propellertyp
Propellermaterial	Einsatzbedingungen, Kräfte

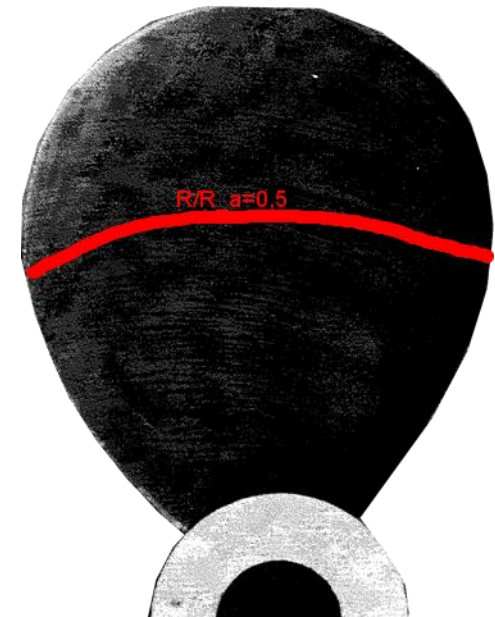
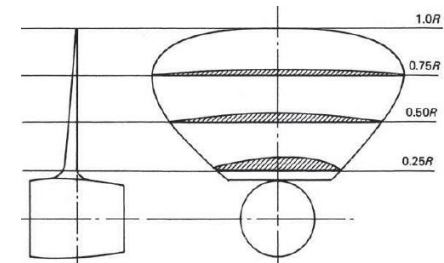


Entwurfsschritte

1. Vorentwurf

- Abschätzung durch gegebene Daten + Diagramme, Empirie, Erfahrung, ...:

Größe	z.B. aus Initialbedingung:
Drehzahl n	Antriebsmaschine, -strang
Vortriebsgeschwindigkeit v_a	Schiffsgeschwindigkeit
Schub S	Antriebsleistung, Schiffsform
Flügelzahl z	Einsatzbedingungen
Durchmesser D_a	Schiffsform, Einsatzbedingung, ...
Nabendurchmesser D_N	Propellertyp
Propellermaterial	Einsatzbedingungen, Kräfte



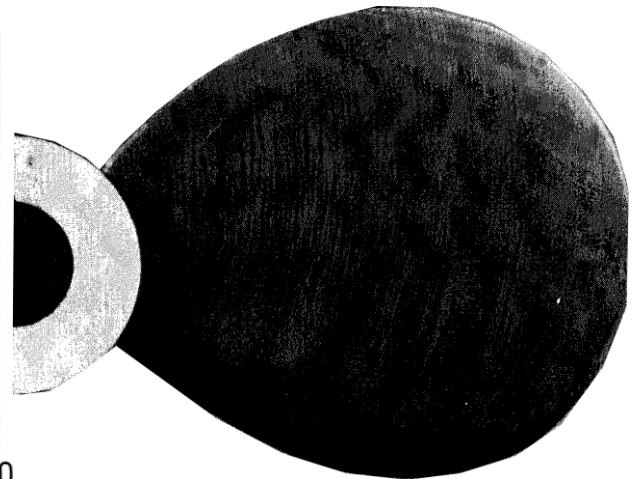
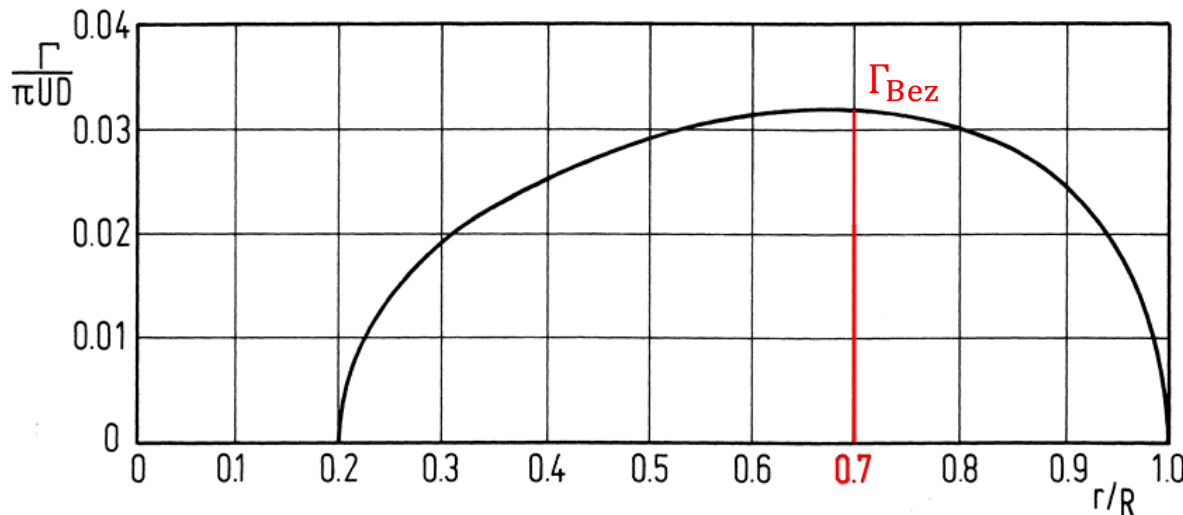
- Einteilung des Propellers in radiale Abschnitte

Entwurfsschritte

2. Entwurf der radialen Lastverteilung

- „einheitliche“, radiale Zirkulationsverteilung von gehäuselosen Axialmaschinen
- Modellierung Zirkulationsverteilung durch Modellkonstante **FAKGAM**:

$$\mathbf{FAKGAM} = \frac{2R_A^2}{\pi(R_A^2 - R_N^2)} \cdot \int_{\frac{R_N}{R_A}}^1 \left(\frac{\Gamma\left(\frac{R}{R_A}\right)}{\Gamma_{\text{Bez}}}\right) \frac{R}{R_A} d\frac{R}{R_A} \approx 0,25$$



Entwurfsschritte

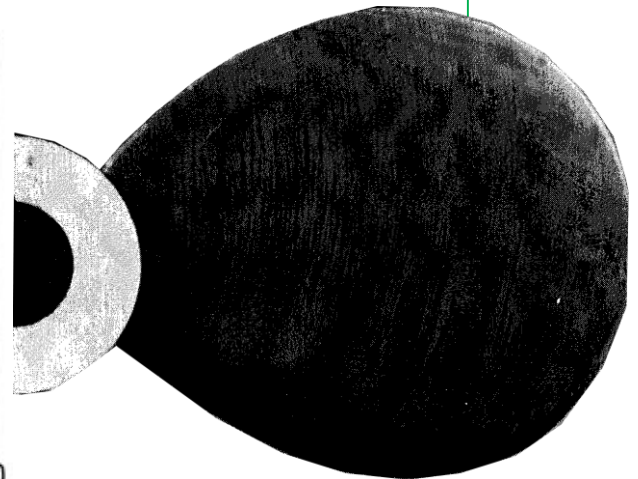
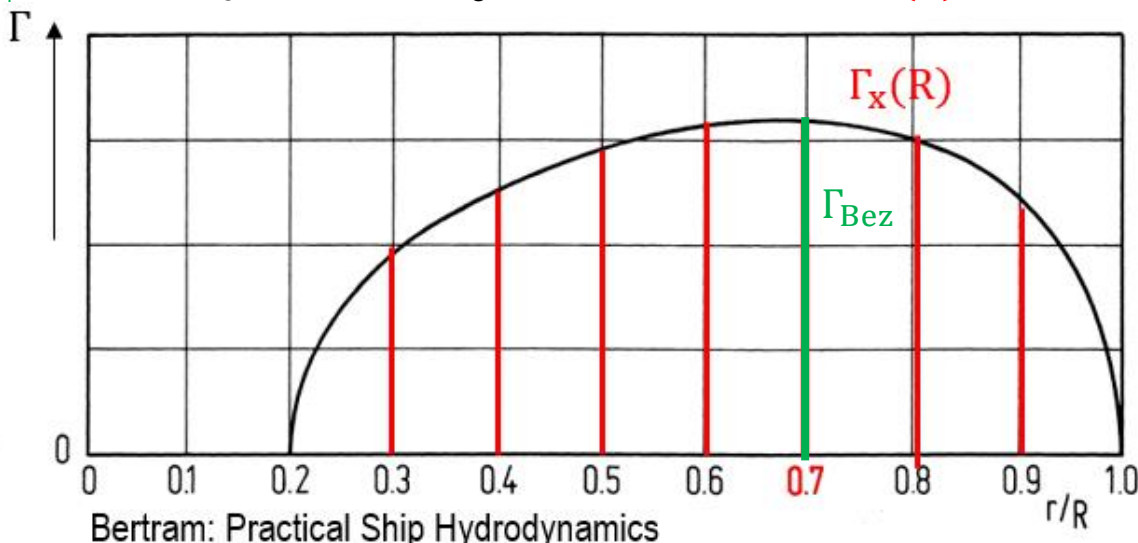
2. Entwurf der radialen Lastverteilung

- Zirkulation Γ_{Bez} mittels :

Energiebilanz: $Q \cdot \omega = \frac{1}{2} \dot{m} (v_{\text{st}}^2 + c_{\text{u,st}}^2 - v_{\text{a}}^2)$

Wirbeltheorie: $Q = \frac{1}{2} z \cdot \dot{m} \cdot \Gamma_{\text{Bez}} \cdot \text{FAKGAM} \rightarrow \text{weitere Annahmen}$

- mittels Γ_{Bez} und Verteilungsfunktion $\rightarrow$ Zirkulation $\Gamma_x(R)$ in Radienschnitten

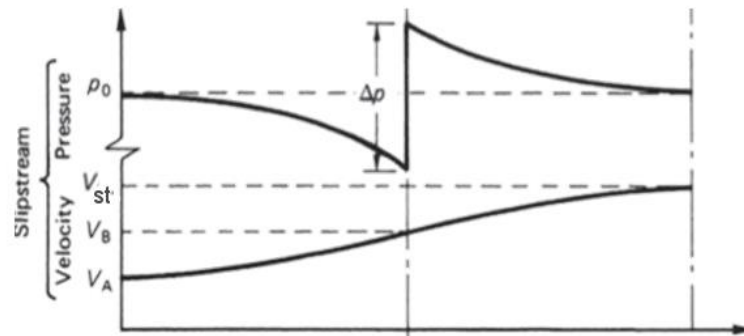
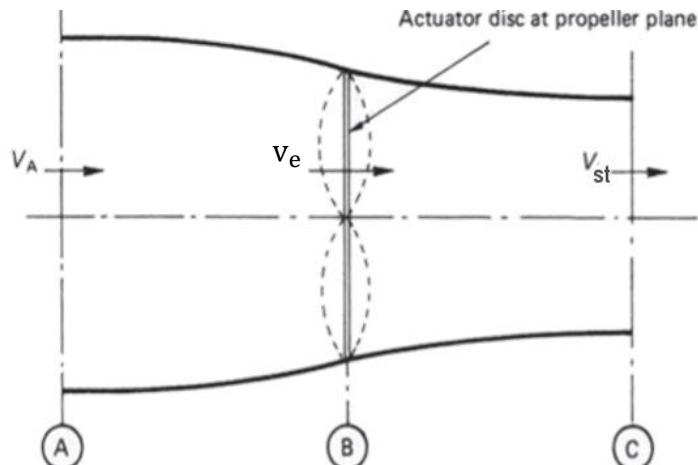


Entwurfsschritte

3. Berechnung der Geschwindigkeiten (axial, tangential)

- Axialkomponente mittels Strahltheorie:

$$v_{st} = \sqrt{\frac{S - \frac{1}{4} \rho \pi (R_a^2 - R_n^2) v_a^2}{\rho \pi (R_a^2 - R_n^2)}}$$



Entwurfsschritte

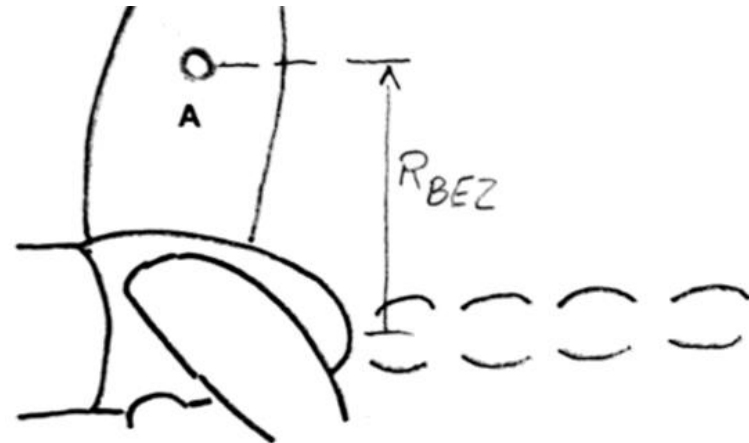
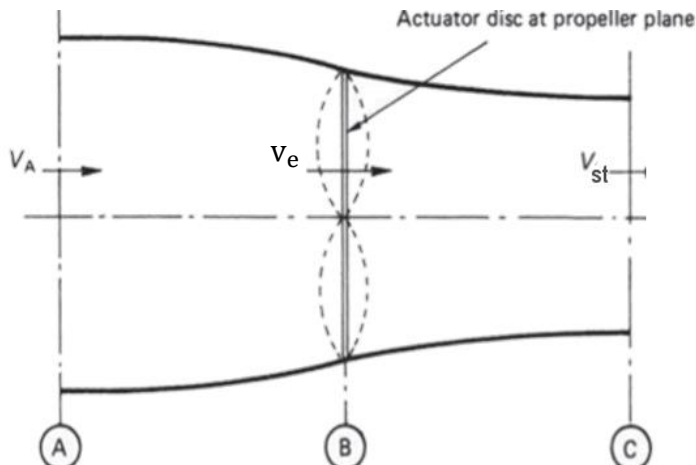
3. Berechnung der Geschwindigkeiten (axial, tangential)

- Axialkomponente mittels Strahltheorie:

$$v_{st} = \sqrt{\frac{S - \frac{1}{4} \rho \pi (R_a^2 - R_n^2) v_a^2}{\rho \pi (R_a^2 - R_n^2)}}$$

- Drallkomponente mittels Wirbeltheorie:

$$c_{u,R} = \frac{z \cdot \Gamma_{Bez}}{2\pi R}$$



Entwurfsschritte

4. Bestimmung der Profilkontur

- Annahme:
 - Nutzung entdimensionierter, „bewährter“ Propellerprofile
 - Profile skaliert durch Profillänge l

→ entdimensionierter Wölbungs (w/l) - und Dickenverlauf (d/l)

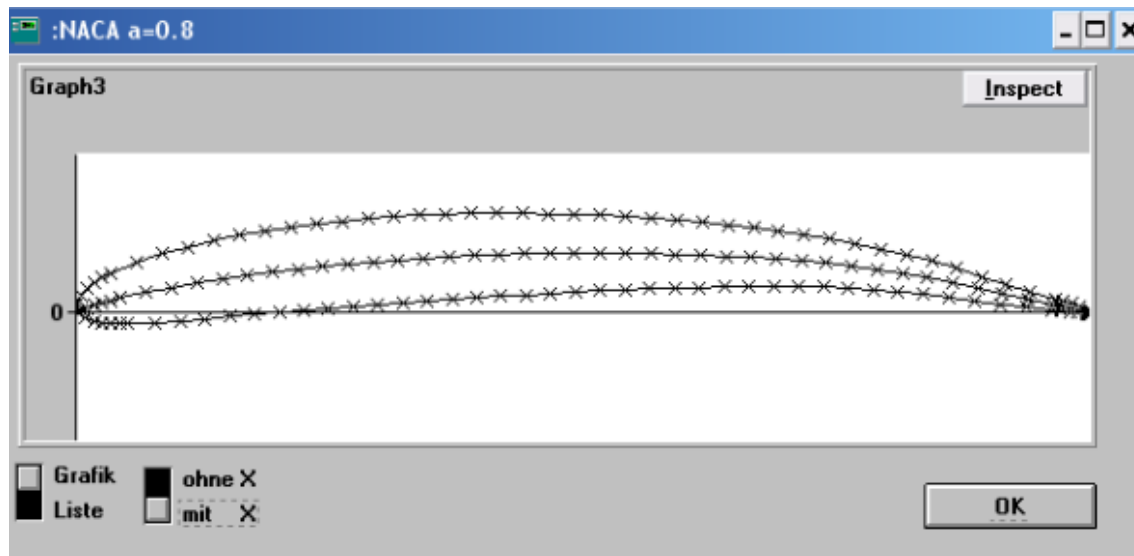


Tabelle		
	X/C	YDC
0	0	0
1	0.005	0.00389
2	0.0075	0.00546
3	0.0125	0.00832
4	0.025	0.01448
5	0.05	0.02458
6	0.075	0.03293
7	0.1	0.04008
8	0.15	0.05172
9	0.2	0.06052
10	0.25	0.06685
11	0.3	0.07072
12	0.35	0.07175
13	0.4	0.07074
14	0.45	0.06816
15	0.5	0.06433

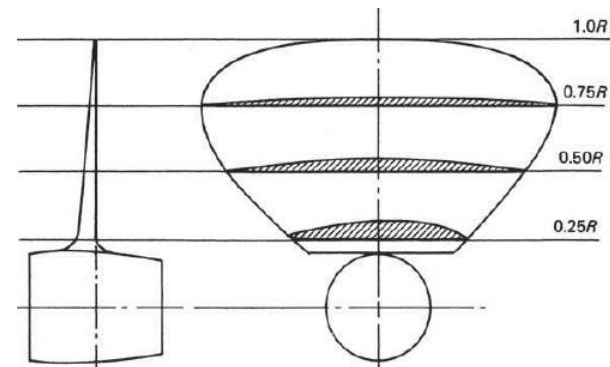
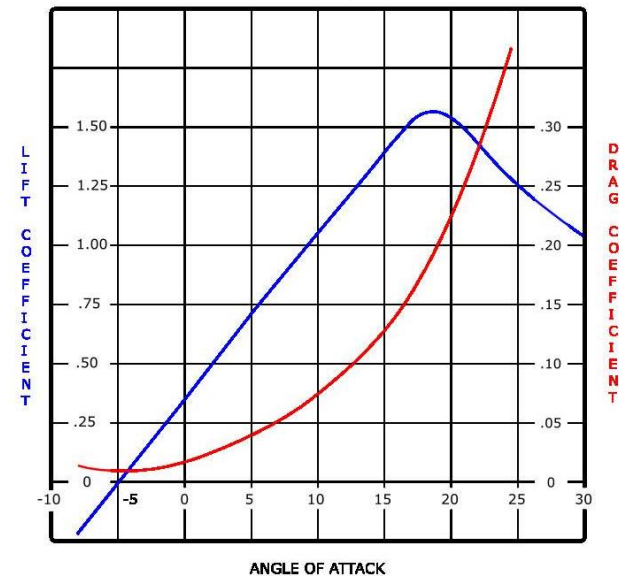
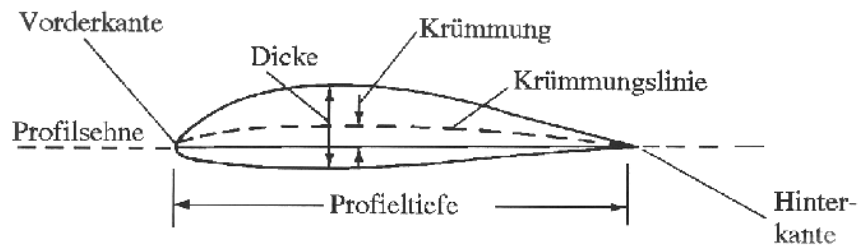
Entwurfsschritte

6. Berechnung der Profillänge l über Radius

- Vorgabe eines Auftriebsbeiwert c_a für die Strömungsmaschine
 - für Propeller: $c_a = 0,3 \dots 0,5$
 - für Windturbinen: $c_a = 0,8 \dots 1,2$
 - für Luftschrauben: $c_a = 0,8 \dots 1,2$
- Profillänge l mittels Profil-/Wirbeltheorie:

$$\Gamma(R) = \frac{1}{2} c_a w_\infty(R) \cdot l(R)$$

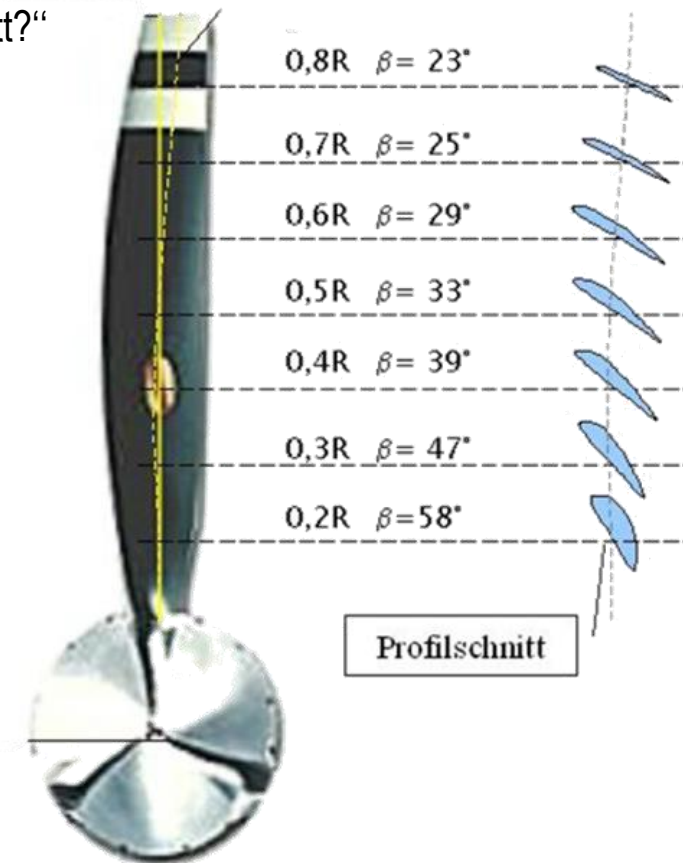
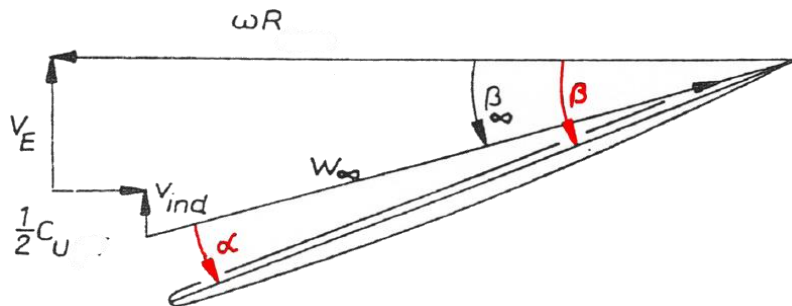
→ dimensionierte Profilgeometrie für alle Radienschnitte



Entwurfsschritte

7. Anstell- und Steigungswinkel des Profils

- einzige Unbekannte: „Welche Lage hat mein Profil im Radienschnitt?“



Entwurfsschritte

7. Anstell- und Steigungswinkel des Profils

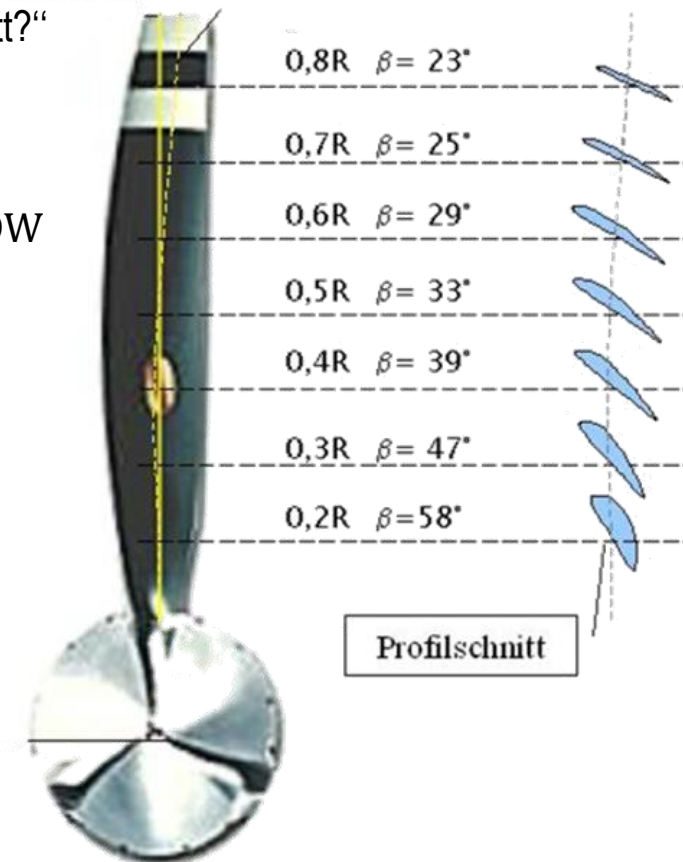
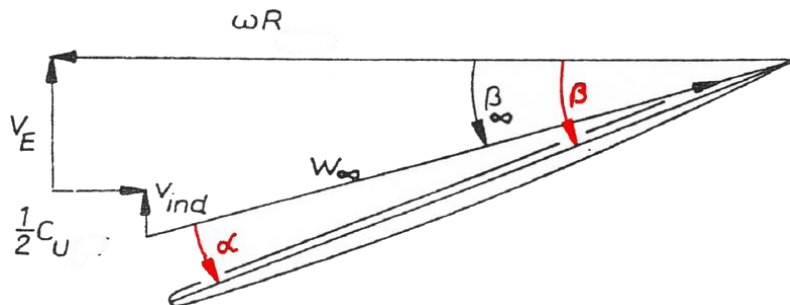
- einzige Unbekannte: „Welche Lage hat mein Profil im Radienschnitt?“

- Anstellwinkel α :

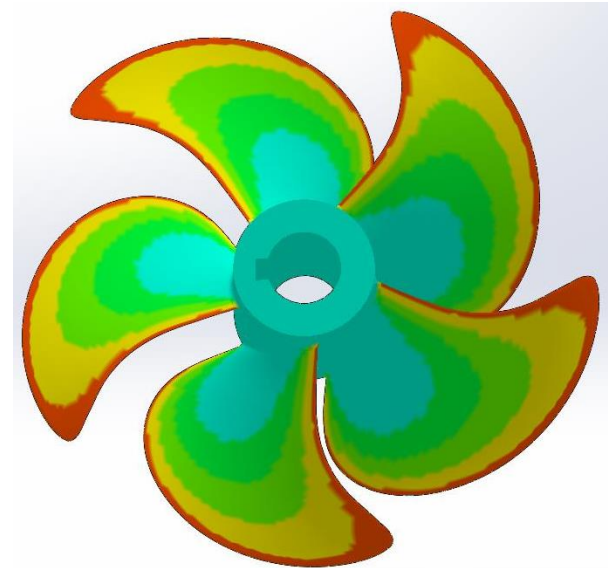
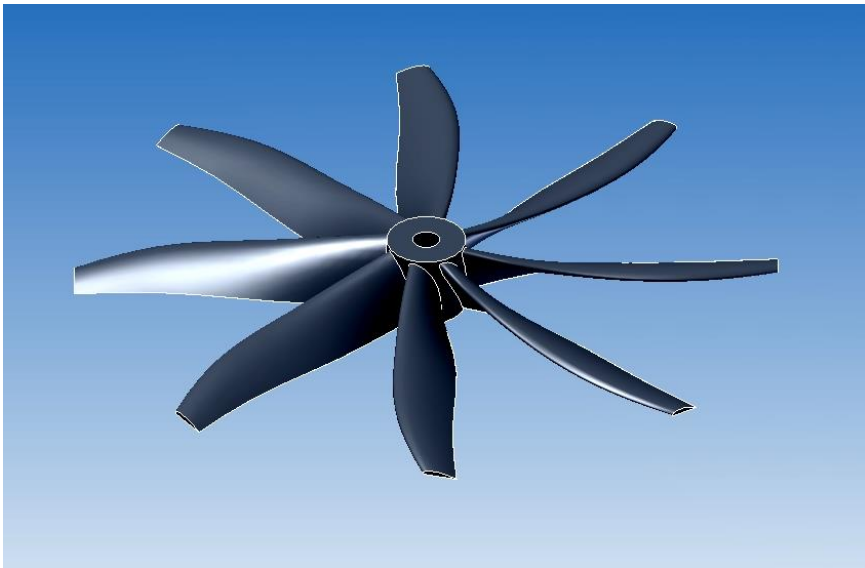
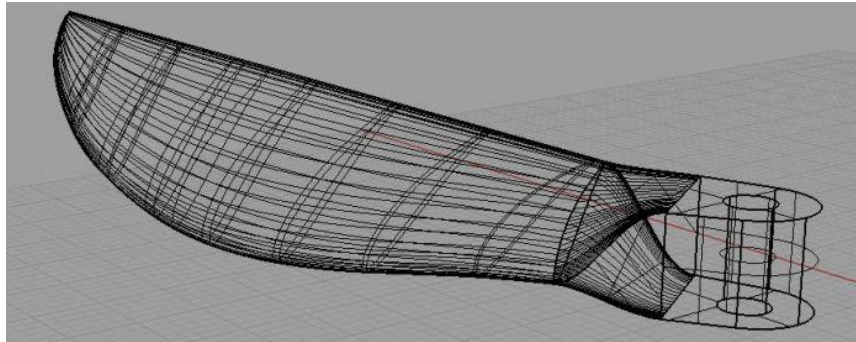
$$\alpha = \frac{c_a}{2\pi \cdot \text{FAKREI}} - \frac{2f_{\max}}{1} \text{FWNS} + \text{DW}$$

- Steigungswinkel β :

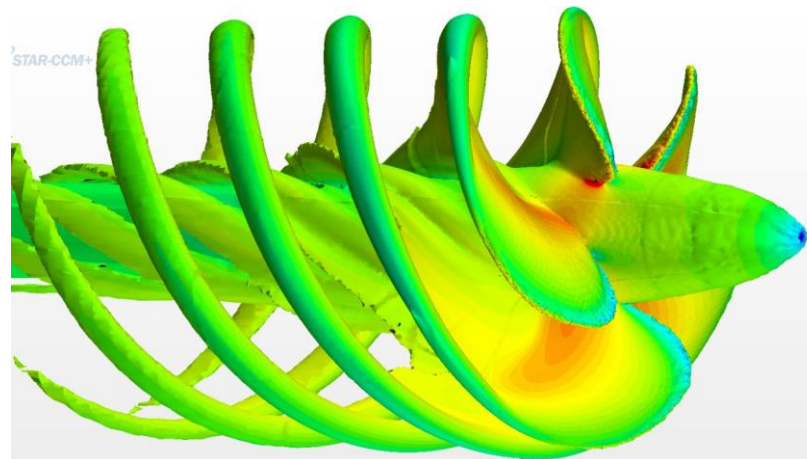
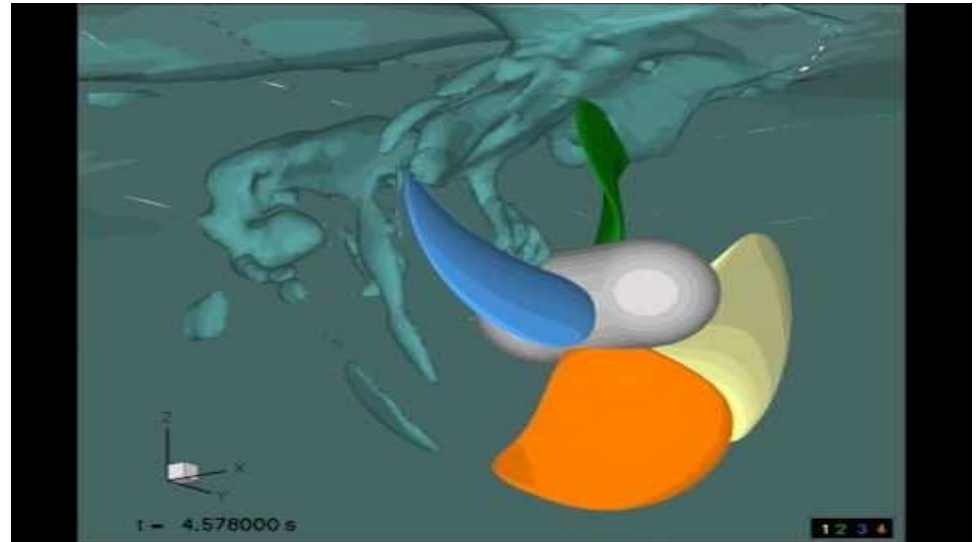
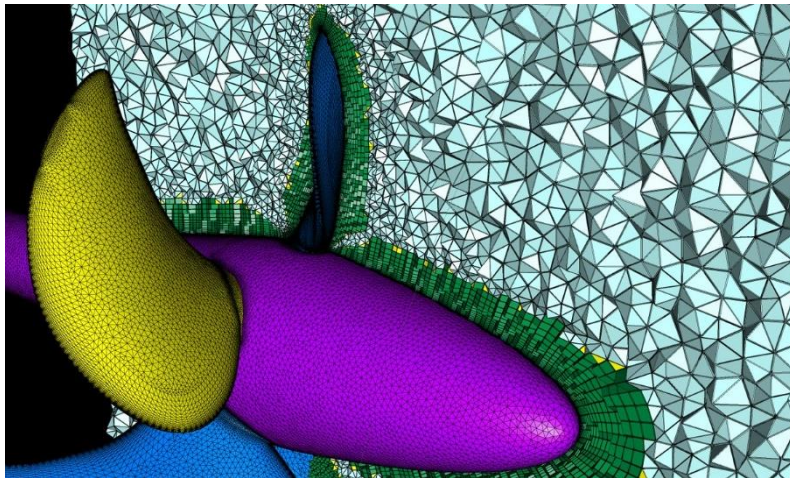
$$\beta = \alpha + \beta_{\infty}$$



Konstruktion mittels CAD



CFD eines Propellers





BACHELORARBEIT !!!