

2 Flügel-Profile, Abschnitt 2.5.3

Hinweise zu den bei Propellern axialer Strömungsmaschinen meist eingesetzten Profilen:

In der Regel betragen (Bild 2-31):

Dickenverhältnis	$d_{\max}/L = 0,05 \dots 0,15 (\dots 0,2)$
Dickenrücklage	$x_{d,\max}/L = 0,3 \dots 0,5$
Wölbungsverhältnis	$f/L = 0 \dots 0,05$
Anstellung	$\delta = 0 \dots 10^\circ$

Profil	dickes	mittleres	dünnes
d_{\max}/L	$\approx 0,15$	$\approx 0,1$	$\approx 0,05$

Die Nullrichtung verläuft üblicherweise durch die Profil-Skelettlinie am Punkt der Pfeilhöhe f (Bild 2-31). Die Anblas- bzw. Anströmrichtung des Auftriebs null $F_A = 0$ (Nullauftriebs-Richtung) verläuft also in der Geraden, die den Skelettlinienpunkt der größten Wölbung mit der Hinterkante des Profils verbindet.

Polare: Die Kurve $\zeta_A = f(\zeta_W)$ gemäß Bild 2-29 wird als Polare bezeichnet, weil der Radiusvektor vom Koordinatenursprung (Ortsvektor) zu jedem Kurvenpunkt die jeweilige auf die resultierende Flügelfkraft F_{Res} (Gl. (3-98)) bezogene Profiliziffer

$$\zeta = \frac{F_{\text{Res}}}{\rho \cdot (w_\infty^2/2) \cdot A_{\text{Fl}}} \quad (1)$$

angibt.

Die Neigung des Radiusvektors zur ζ_W -Achse (Winkel γ in Bild 2-31) kennzeichnet zudem die Gleitzahl ε des Profils für den zugehörigen Anstellwinkel δ .

Die Betrachtung axialer Schaufelräder als Propeller und damit Berechnung nach der Tragflügeltheorie ist nur bei weiter Auseinanderstellung der Flügel zulässig. Diese Bedingung gilt dann als erfüllt, wenn die Flügeltteilung t am mittleren Teilkreis das 1,3fache der zugehörigen Profiltiefe L übersteigt, also $(t/L)_{(m)} \geq 1,3$.

Die kritische Profil-REYNOLDS-Zahl (Gl. (2-110)) beträgt

$$Re_{\text{kr}} = (0,5 \dots 1,5 \dots 5) \cdot 10^5 \quad (2)$$

Bei Strömungsmaschinen – axial und radial – liegt die REYNOLDS-Zahl meist über dem kritischen Wert Re_{kr} . Deshalb besteht meist überkritische, d. h. turbulente Strömung in Turbomaschinen. Die laminare Grenzschicht ab dem Staupunkt an der Profilnase schlägt nach dem Strömungsweg von etwa 20 bis 30 % der Profillänge in turbulente um und löst sich nicht ab (überkritischer Fall).

Für die Beiwerte der üblichen Profile gilt im sinnvollen Einsatzgebiet (etwa linearer Polaren-Bereich) näherungsweise bei Flügelstreckung $\Lambda \approx 5$:

$$\zeta_A = (0,09 \dots 0,10 \dots 0,11) \cdot |\delta_0^0| \quad (3)$$

Mit $\delta_0^0 \dots$ Nullauftriebswinkel in Grad (Kennzeichen hochstehende kleine Null):

$$\delta_0^0 = -(90 \dots 100) \cdot (f/h) \quad (4)$$

$$\varepsilon = 0,01 + 0,02 \cdot (d_{\max}/L) + 0,08 \cdot (f/L) \quad (5)$$

Beziehung (5) bestätigt, dass Verdicken des Profils ebenso wie Verstärken dessen Krümmung den Widerstand erhöht (ε steigt). Der Widerstandsbeiwert ζ_W wächst durch diese Maßnahmen rascher als die zugehörige Auftriebszahl ζ_A . Dickere Profile ergeben somit schlechteren Wirkungsgrad und sind daher nicht im Vorteil gegenüber dünneren.

Zudem ermöglichen dünnere Profile eine größere Umlenkung der Strömung und damit höhere Umfangskraft (Auftrieb). Deshalb werden meist dünnere Profile ($d_{\max}/L < 0,1$) bevorzugt angewendet.

Laminarprofile – laminare Grenzschicht auf 40 ... 60 % der Profiltiefe und erst danach turbulente – ergeben besonders geringe Verluste. Sie sind gut geeignet für Pumpen (KP und KV).

Weitere übliche Begriffe:

Gitterfront: Tangente an die Vorderkanten (Profilnasen) der Schaufelprofile des Axialgitters (Bild 1-6, Teil a, Zylinderschnitt).

Stafflungswinkel: Winkel zwischen Profilbezugslinie und Gitterfront (Bild 2-27).

Schaufel-Verwindung: Änderung des Stafflungswinkels entlang der Schaufelhöhe (Radialrichtung). Ist bedingt durch die sich mit dem Laufradradius ändernde Umfangsgeschwindigkeit $u = \omega \cdot r$.

Stoßfreier Eintritt: Zuströmung so, dass Relativgeschwindigkeit am Eintritt tangential zur Profil-Skelettlinie erfolgt.

Doppelkreisbogenprofil: Druck- und Saugseite des Profils, also Vorder- und Rückseite, bestehen je aus einem Kreisbogen. Beide Kreisbögen tangieren dabei an Nase und Hinterkante des Profils je den Nasen- und Hinterkantenradius. Verwendet wird diese Profilart meist bei höheren Zuström-MACH-Zahlen.