



Aerodynamische Grundlagen

KIT





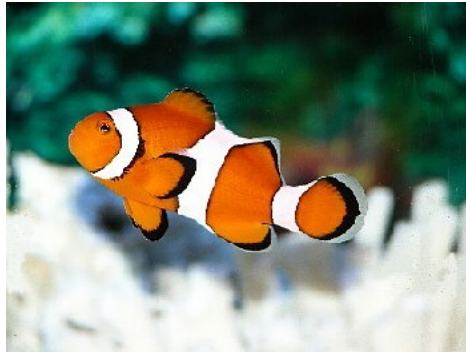
EIFER

Überblick

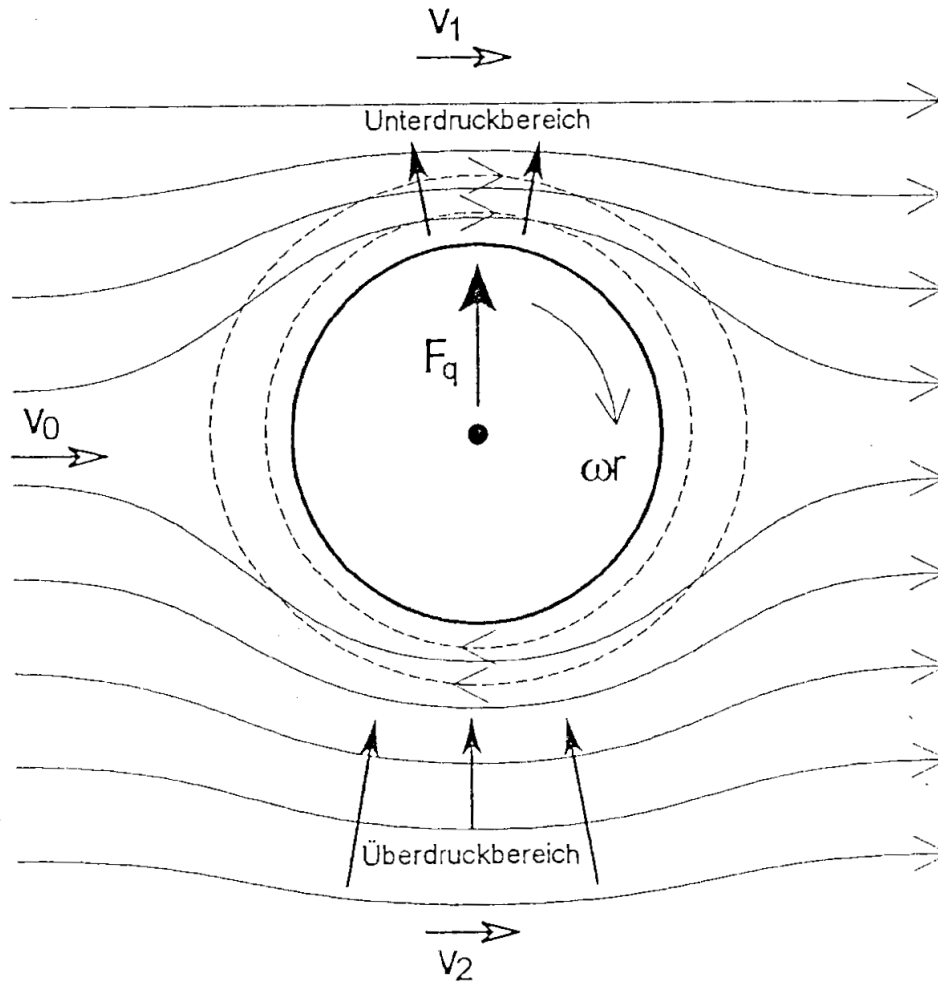
- Auftrieb ?
- Betz und die Realität
- Beiwerte
- Leistungsregelung ?
- Geschwindigkeitsdreiecke



Auftrieb



Flettnerrotor & Bernoulli



$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 + p = \text{const.}$$

Inkompressibilität
Trajektorie
Stationarität
Reibungsfreiheit
Keine weiteren Kräfte

Beschreibt Strömung um Tragfläche genau genug
bis etwa 300 km/h

$$v_1 = v_0 + \omega r$$

$$v_2 = v_0 - \omega r \quad (\text{mit } \omega r \ll v_0)$$

$$F_q = \zeta \cdot \omega r \cdot v_0 \cdot r \cdot l = \zeta \cdot r^2 \cdot l \cdot v_0 \cdot \omega$$

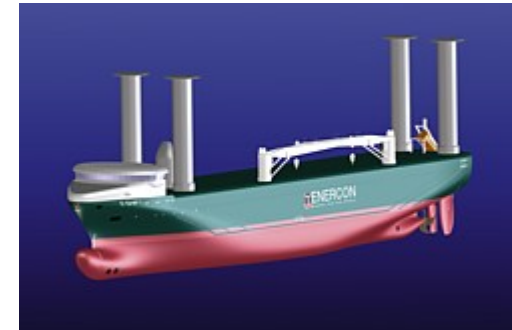
Flettner's Visionen und Realitäten



Buckau



Barbara



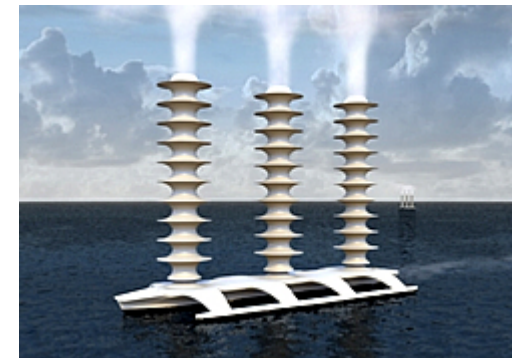
Enercon E-Ship



Baden-Baden

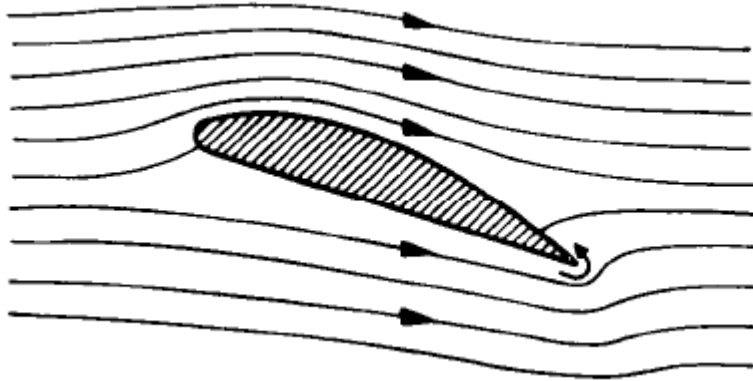


Acyone

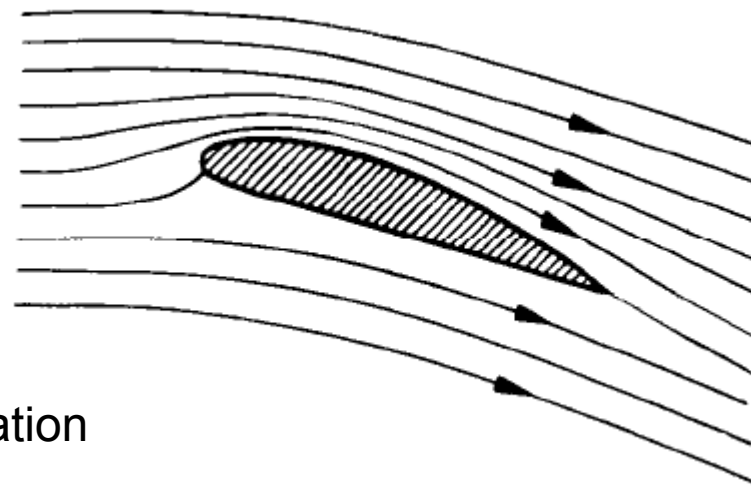


Thom-Rotorship

Strömungsbild - Zirkulation

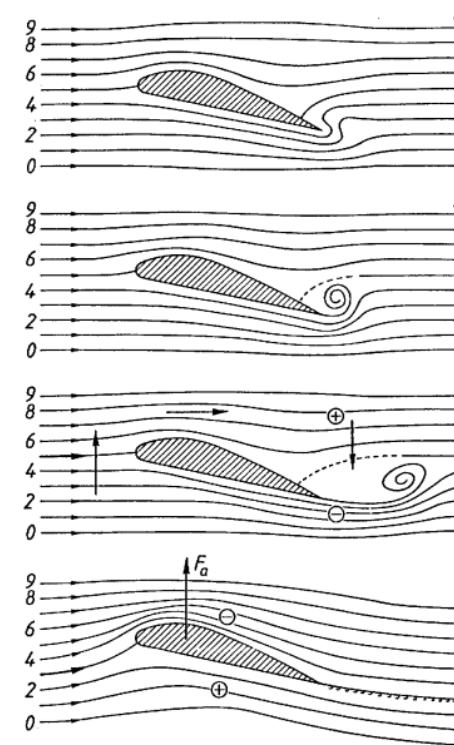
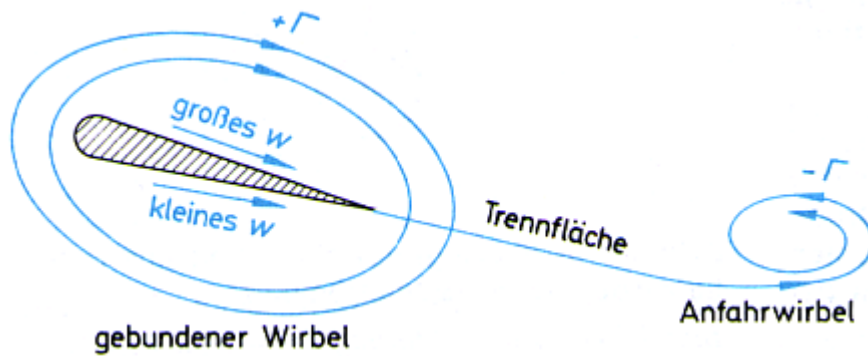


Ohne Zirkulation



Mit Zirkulation

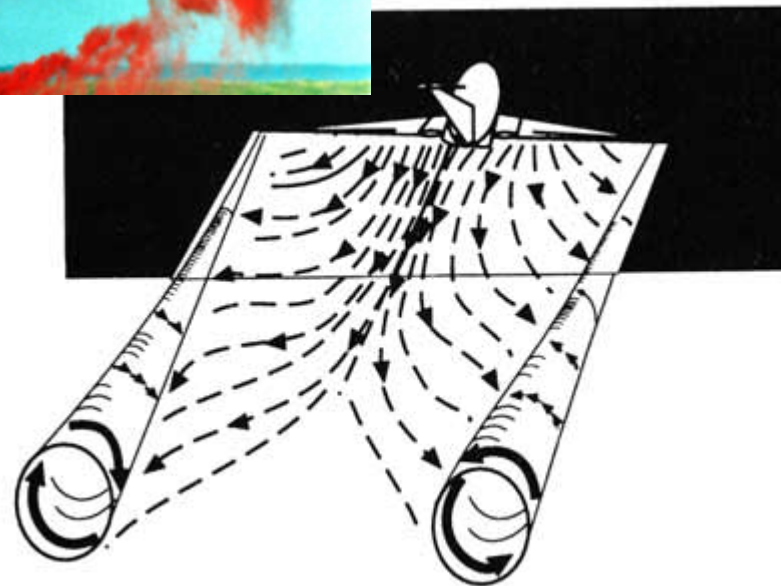
Zusammengesetzte Strömung / Zirkulation





EIFER

Randwirbel





EIFER

3D Wirbel

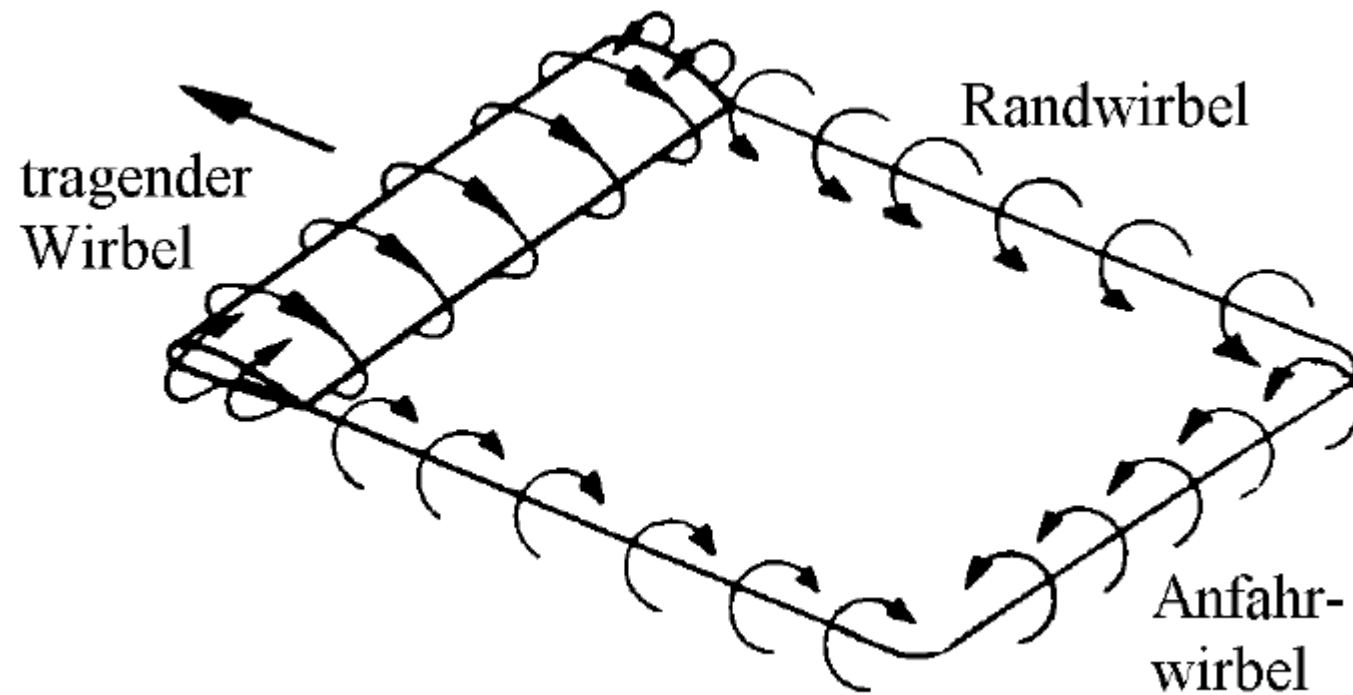




Bild 5

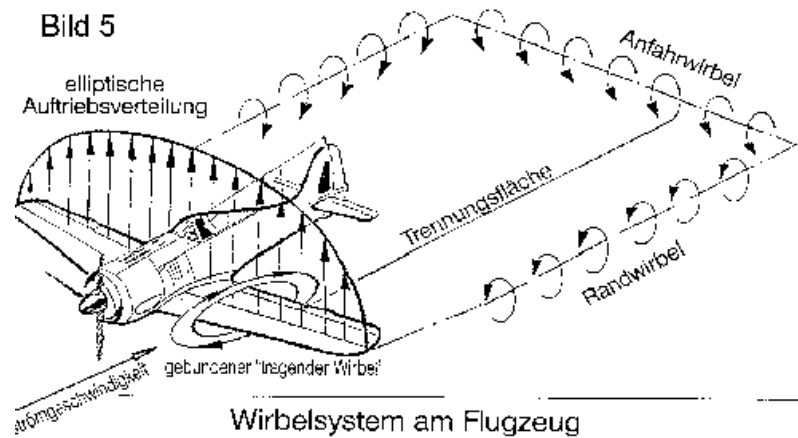
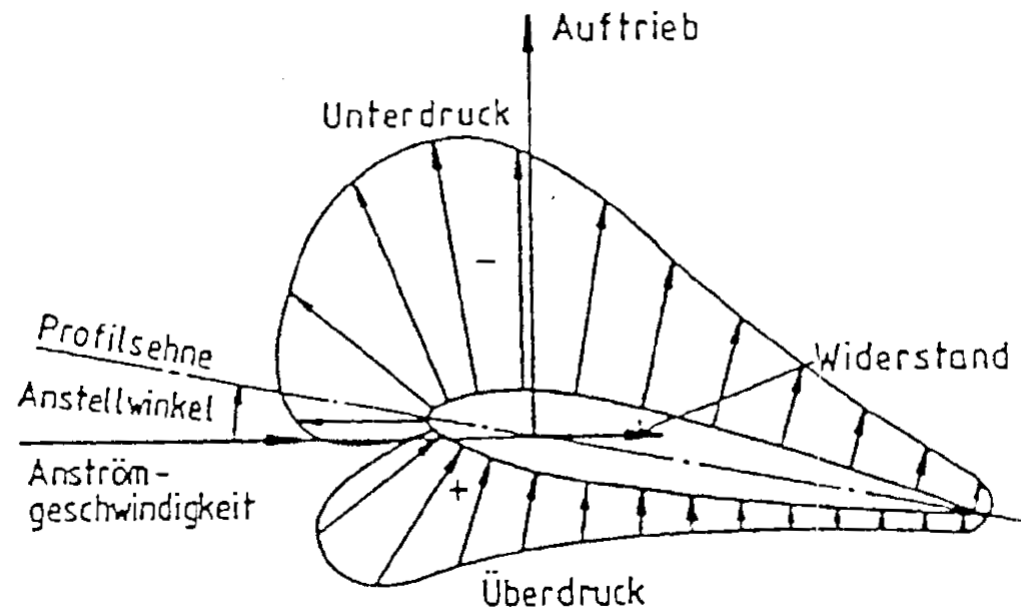


Bild 8



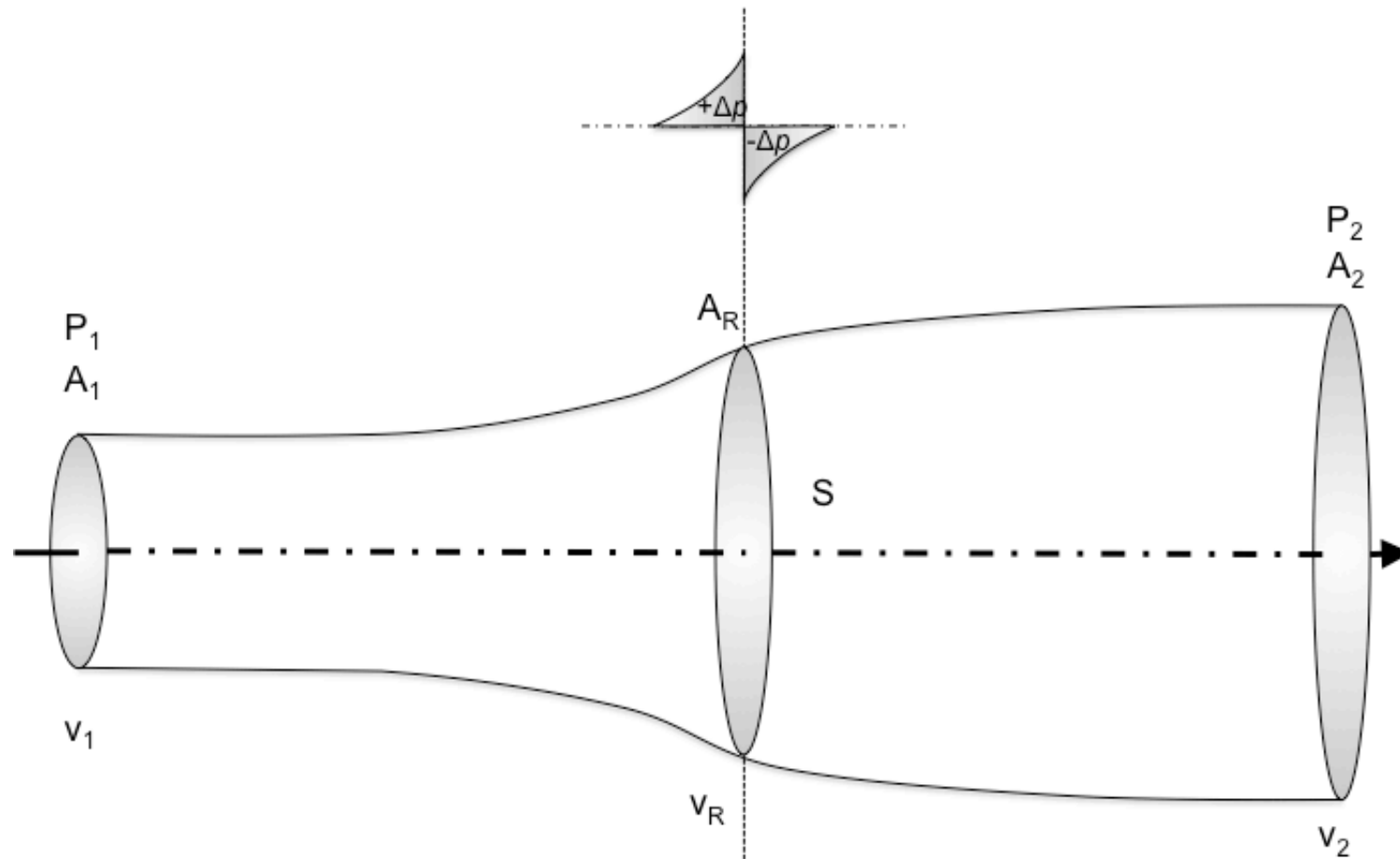


Luftkräfte am Profil

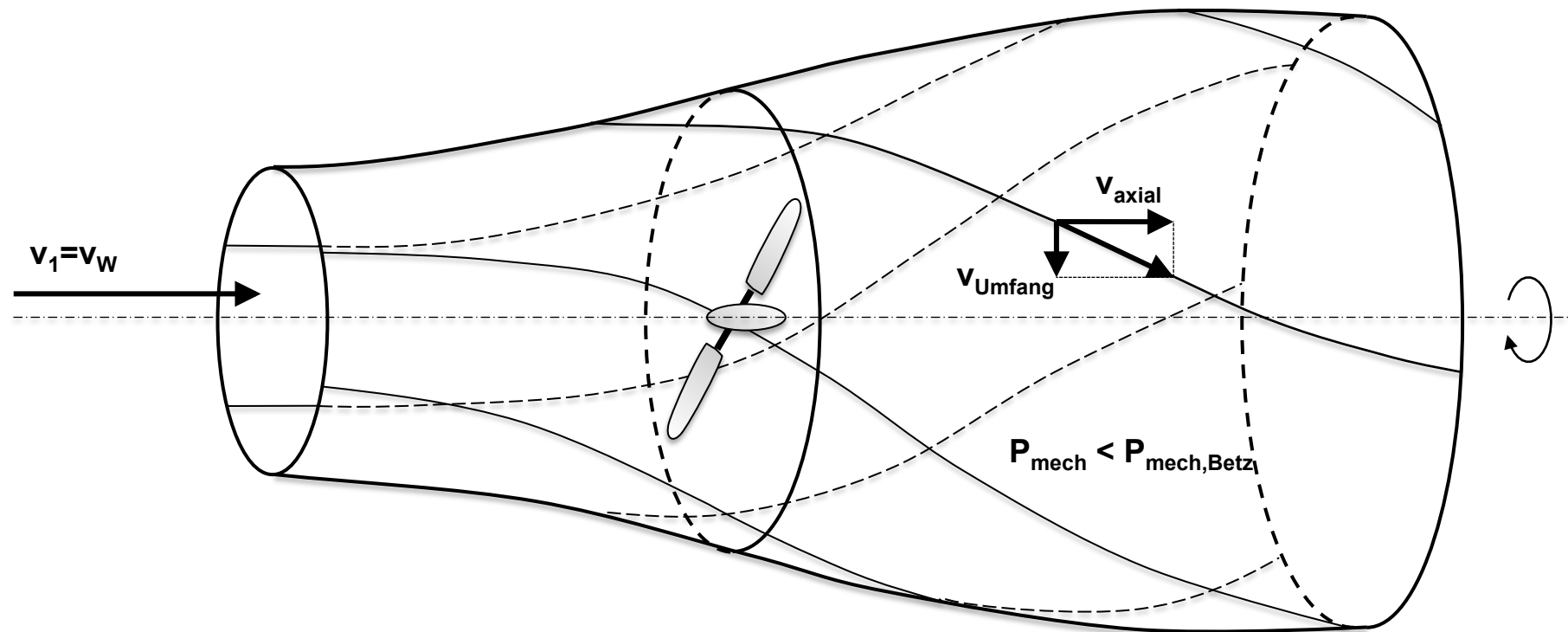


Betz

Stromlinienverlauf 2D (Strömungsflasche)



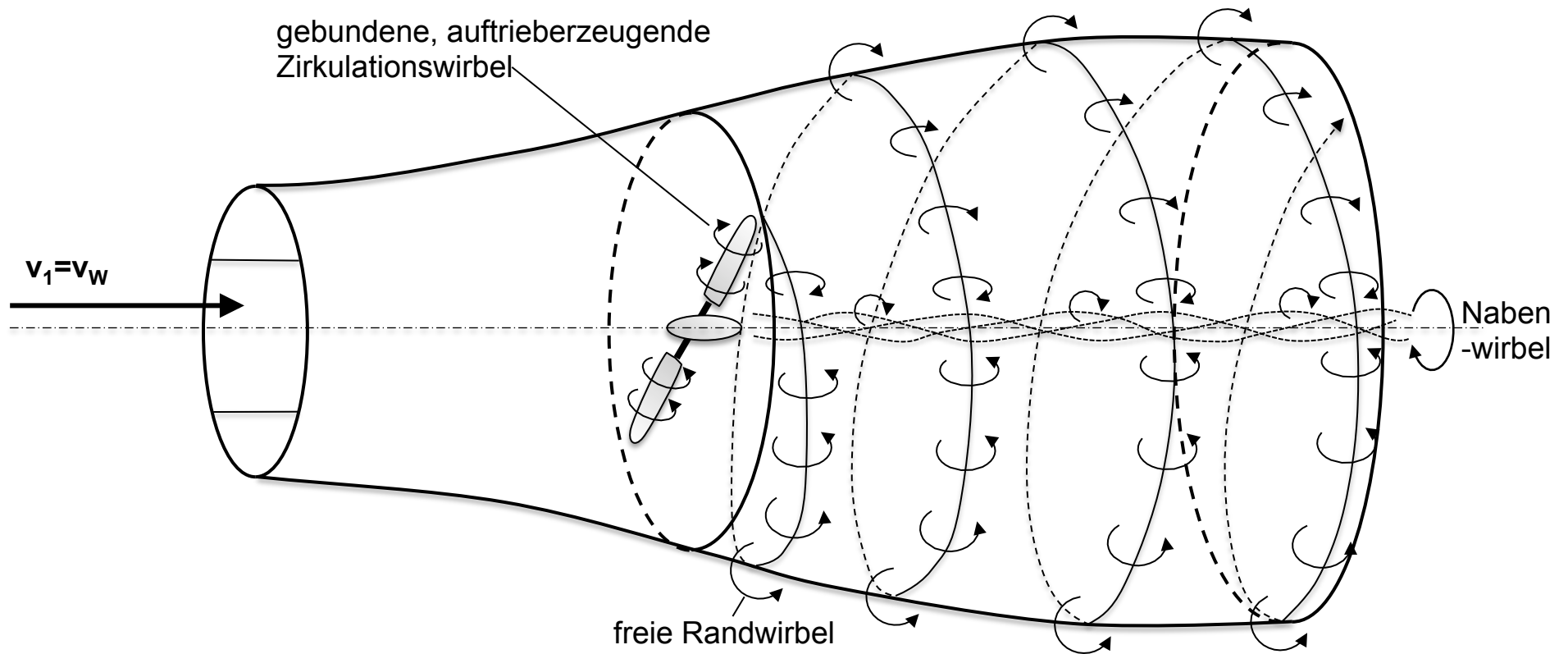
$$c_P = \frac{P_{Turbine}}{P_{Wind}} = \frac{P_{T,mec}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{Wind}^3 \cdot A_{Rotor}}$$





Betz

Wirbelerluste





Kenngrößen

Kenngrößen :	Widerstandsbeiwert	c_W
	Auftriebsbeiwert	c_A
	Induzierter Widerstandsbeiwert	$c_{W,i}$ (bedingt durch Randwirbel)
	Leistungsbeiwert	c_P
	Drehmomentenbeiwert	c_M
Winkel :	Aerodynamische Anstellwinkel	α
	Blattanstellwinkel	β oder ϑ (konstruktionsbedingt)



Formeln

Formeln :

Auftriebskraft

$$F_A = c_A \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A$$

Widerstandskraft

$$F_W = c_W \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A$$

A ist hier in beiden Fällen die größtmögliche Projektion des Blattes (Rechteck : $L \cdot T$)

Leistung

$$P = c_P \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot A$$

Drehmoment

$$M = c_M \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot R$$

A entspricht hier der Gesamtrortorkreisfläche

Gleitzahl

$$E = \frac{c_A}{c_W}$$

Brett : E=10, WEC : E=100-150,
Hochleistungsprofil : E=200

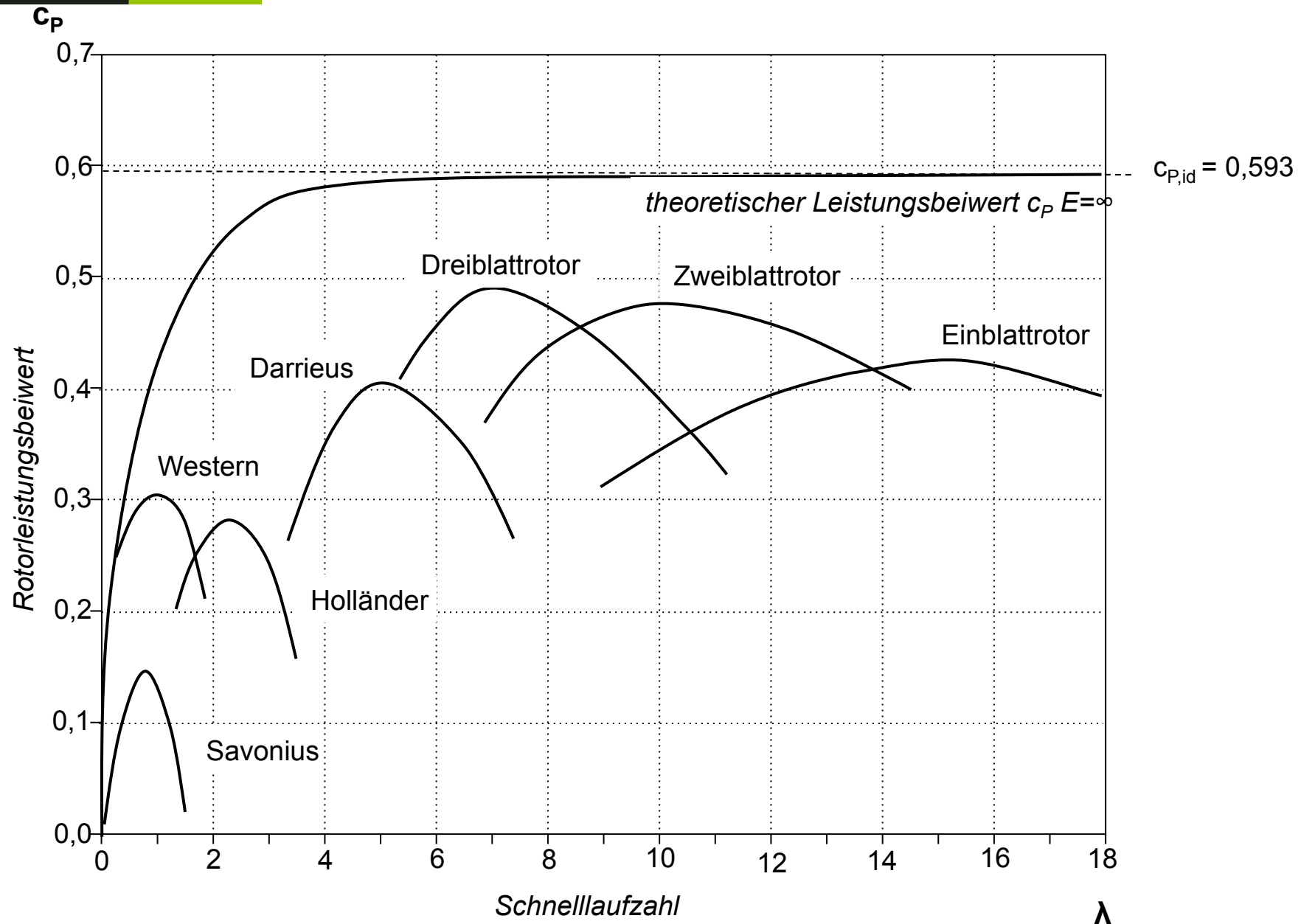
Schnellaufzahl

$$\lambda = \frac{v_{u,sp}}{v_w}$$

$v_{u,sp}$ = Umfanggeschwindigkeit d.Blattspitze

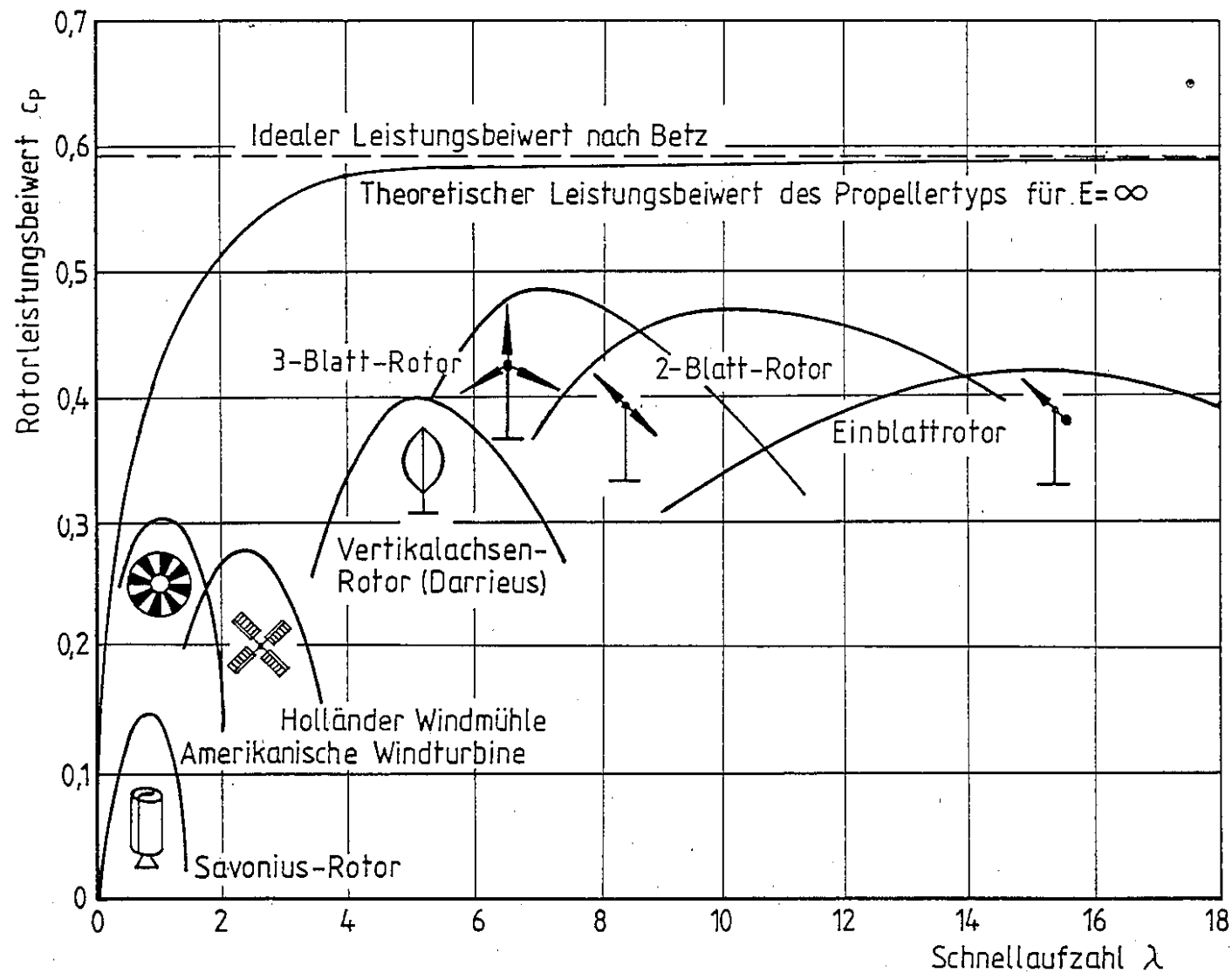
v_w = Windgeschwindigkeit

$$c_P = \lambda \cdot c_M$$





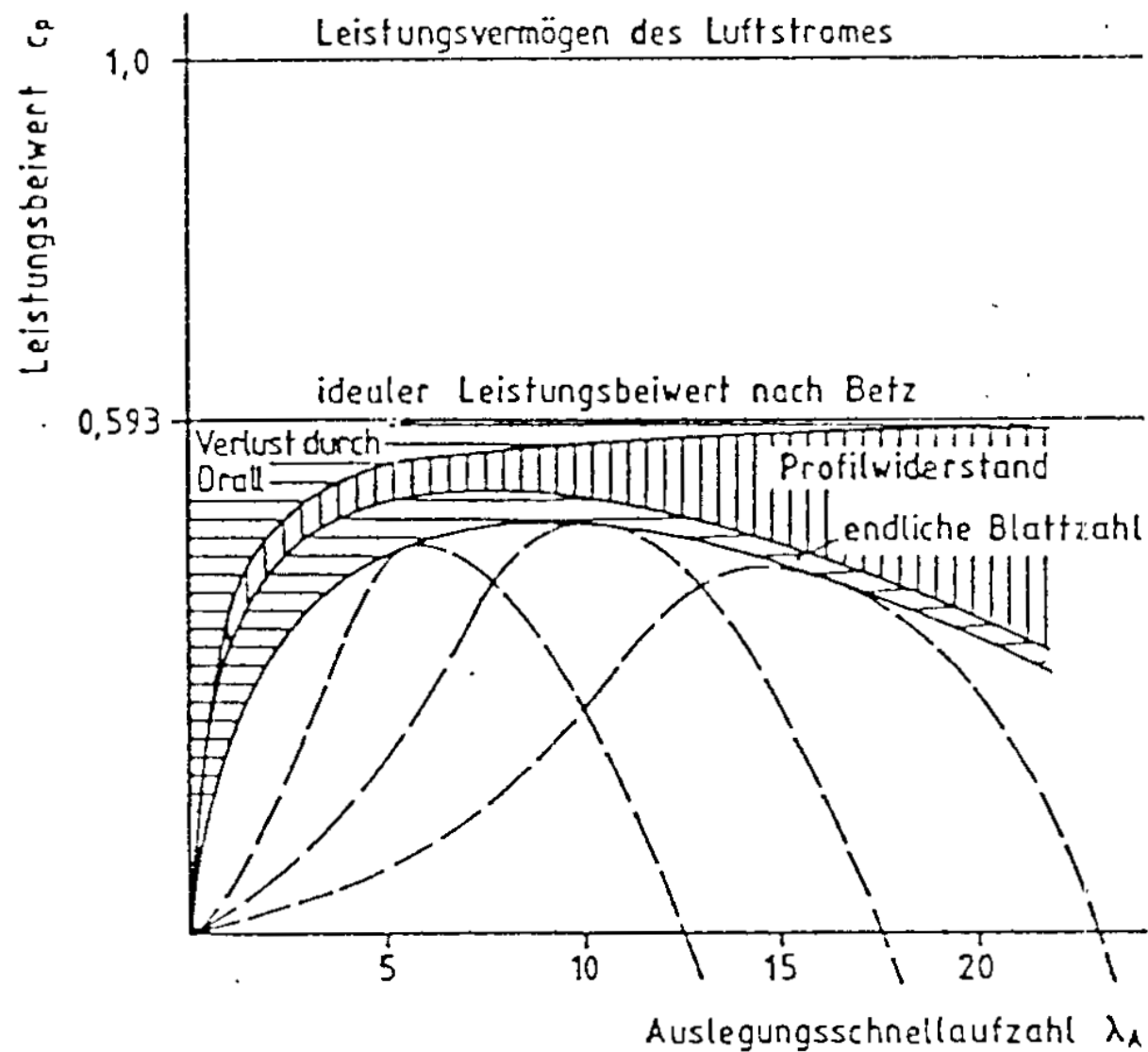
Leistungskennlinien typischer WKA

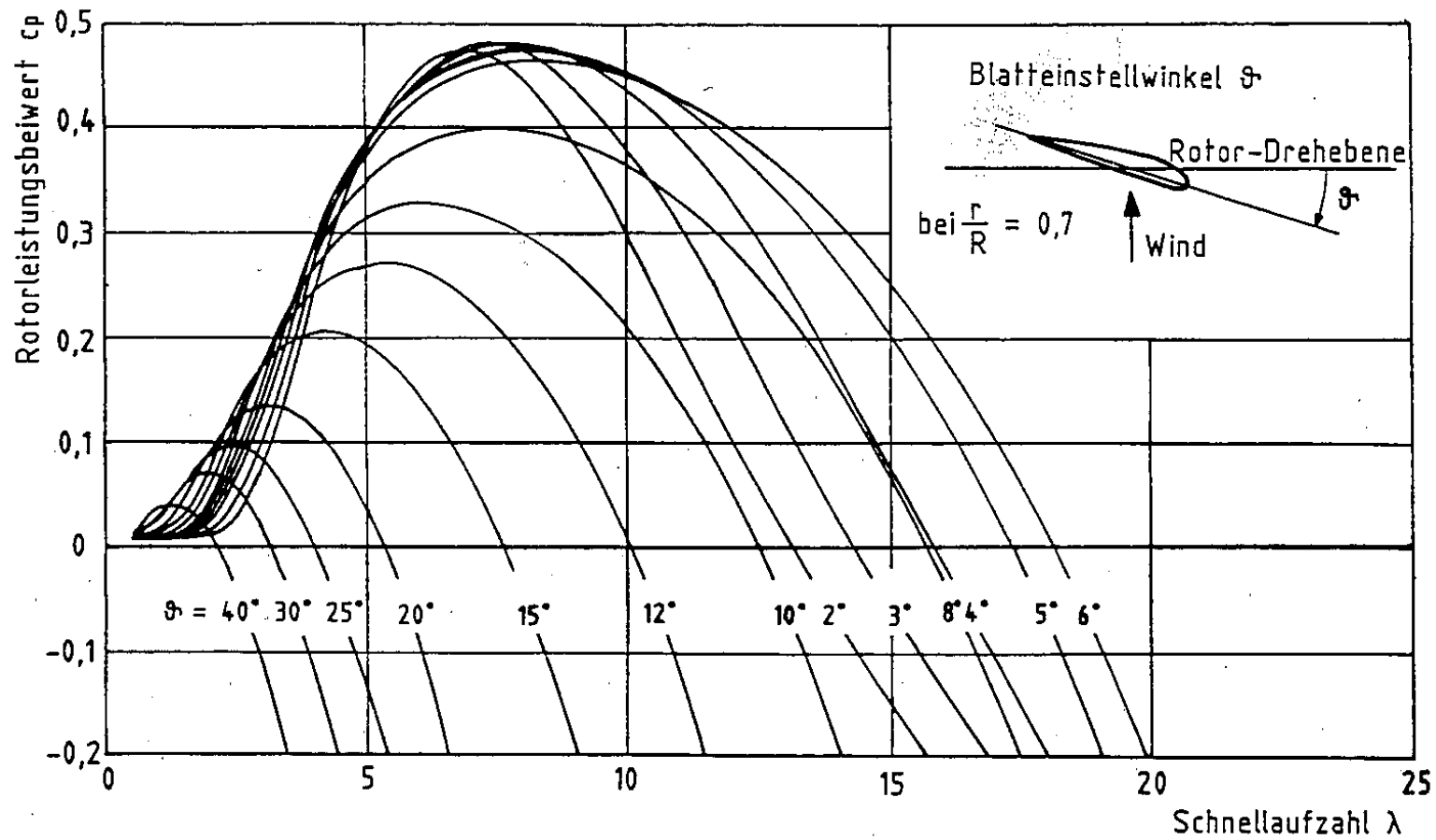




EIFER

Betz Verluste

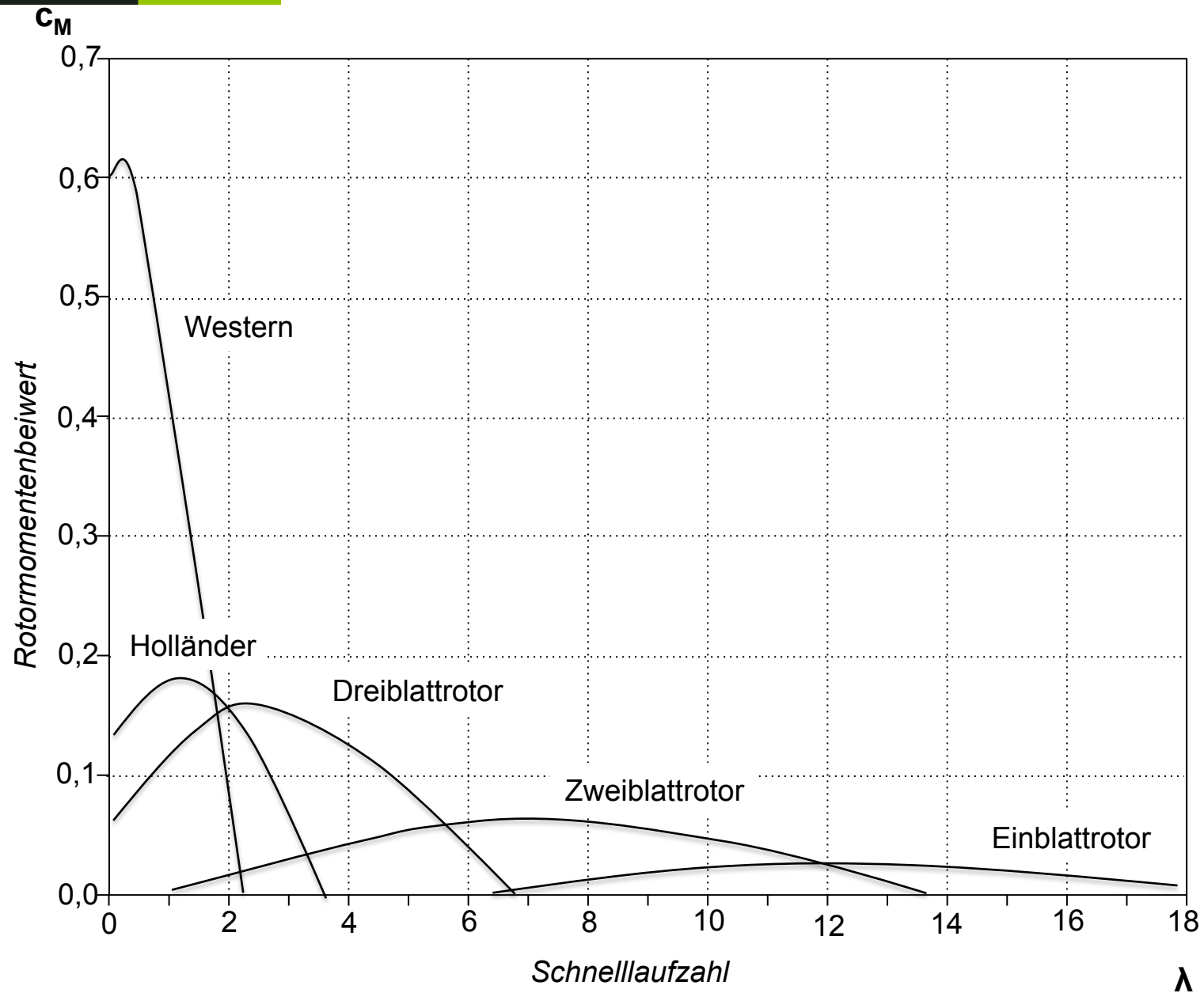




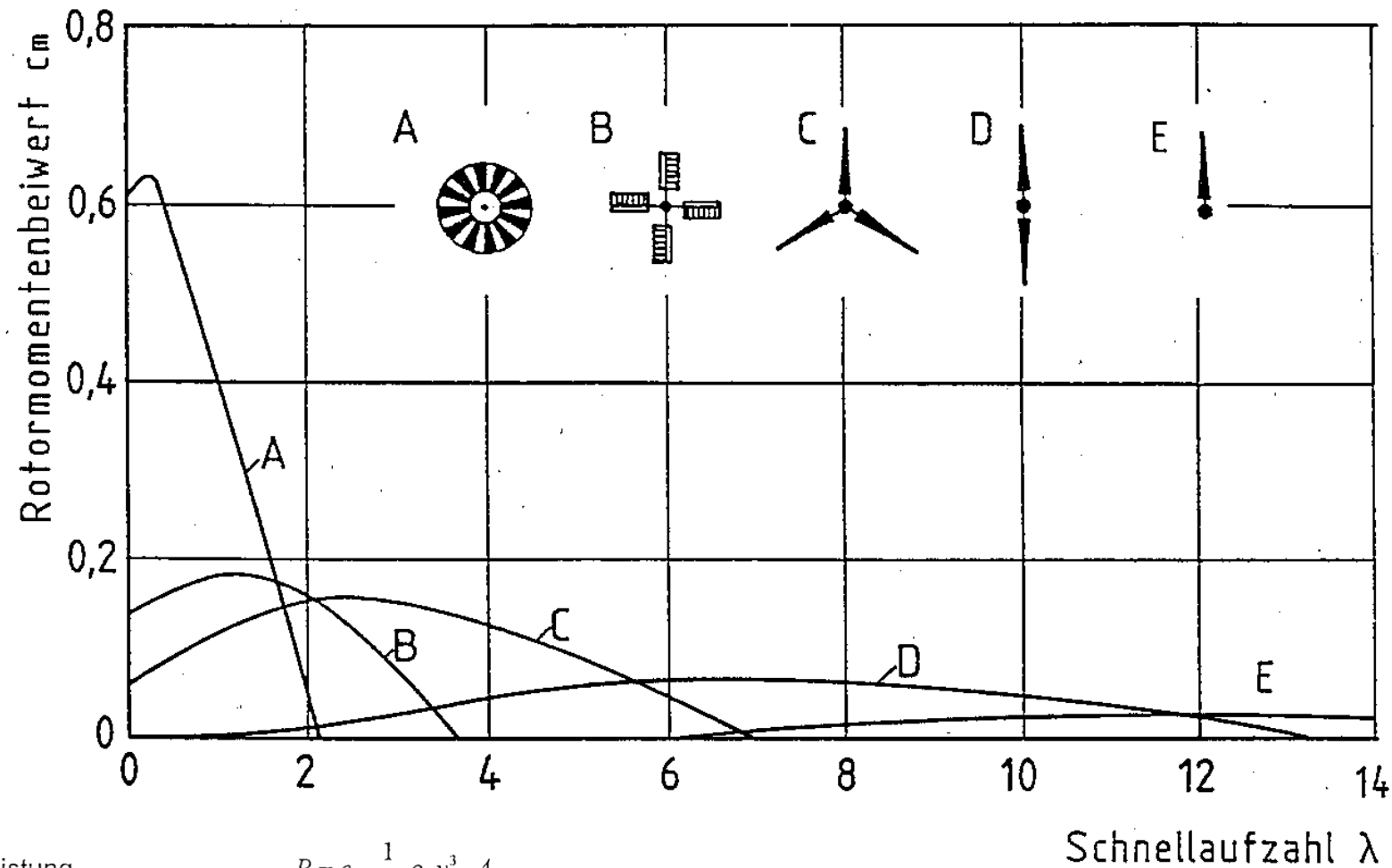


Betz

Momentenbeiwerte



Momentenfeld typischer WKA



Leistung

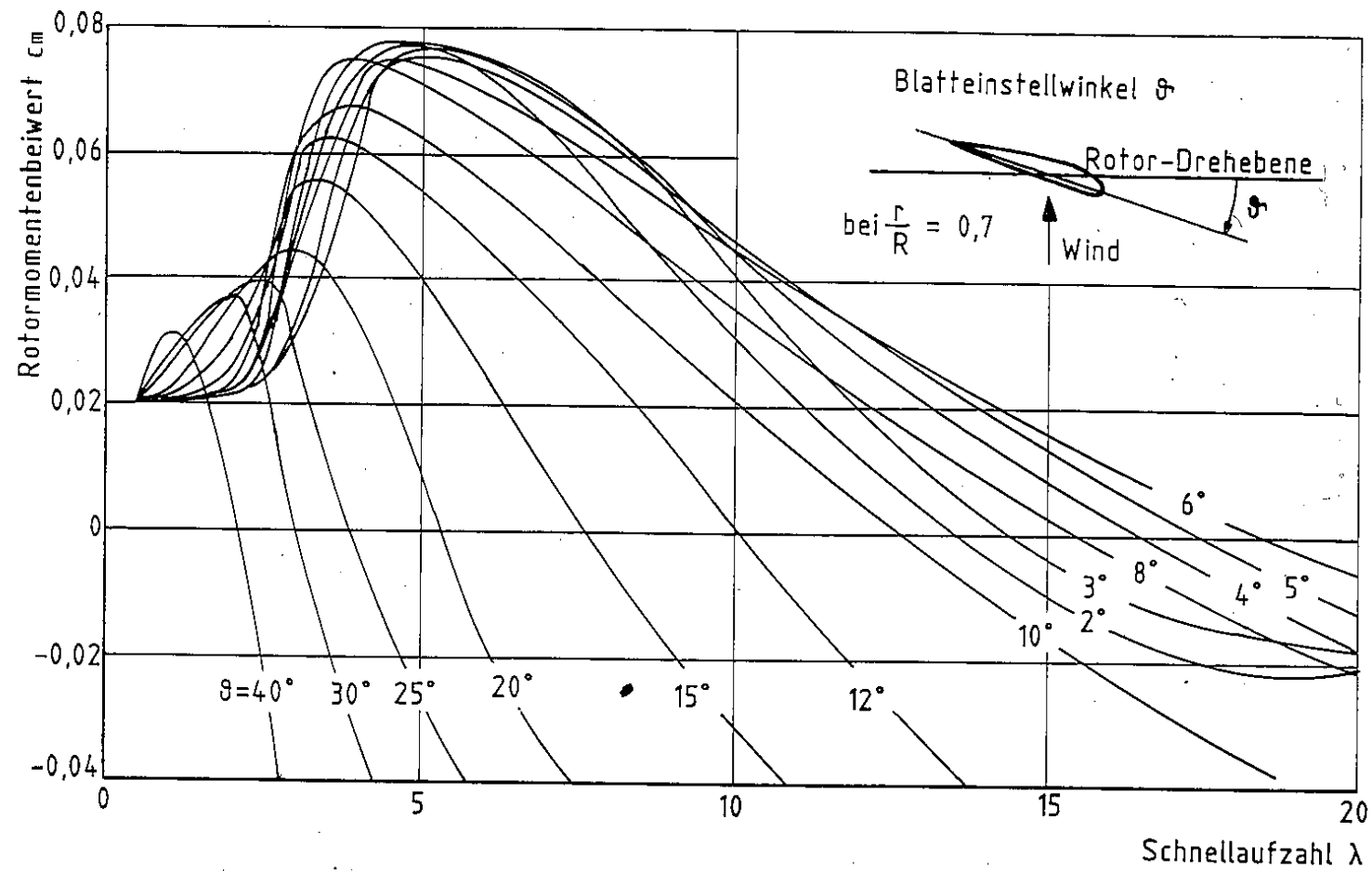
$$P = c_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot A$$

Drehmoment

$$M = c_M \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot R$$

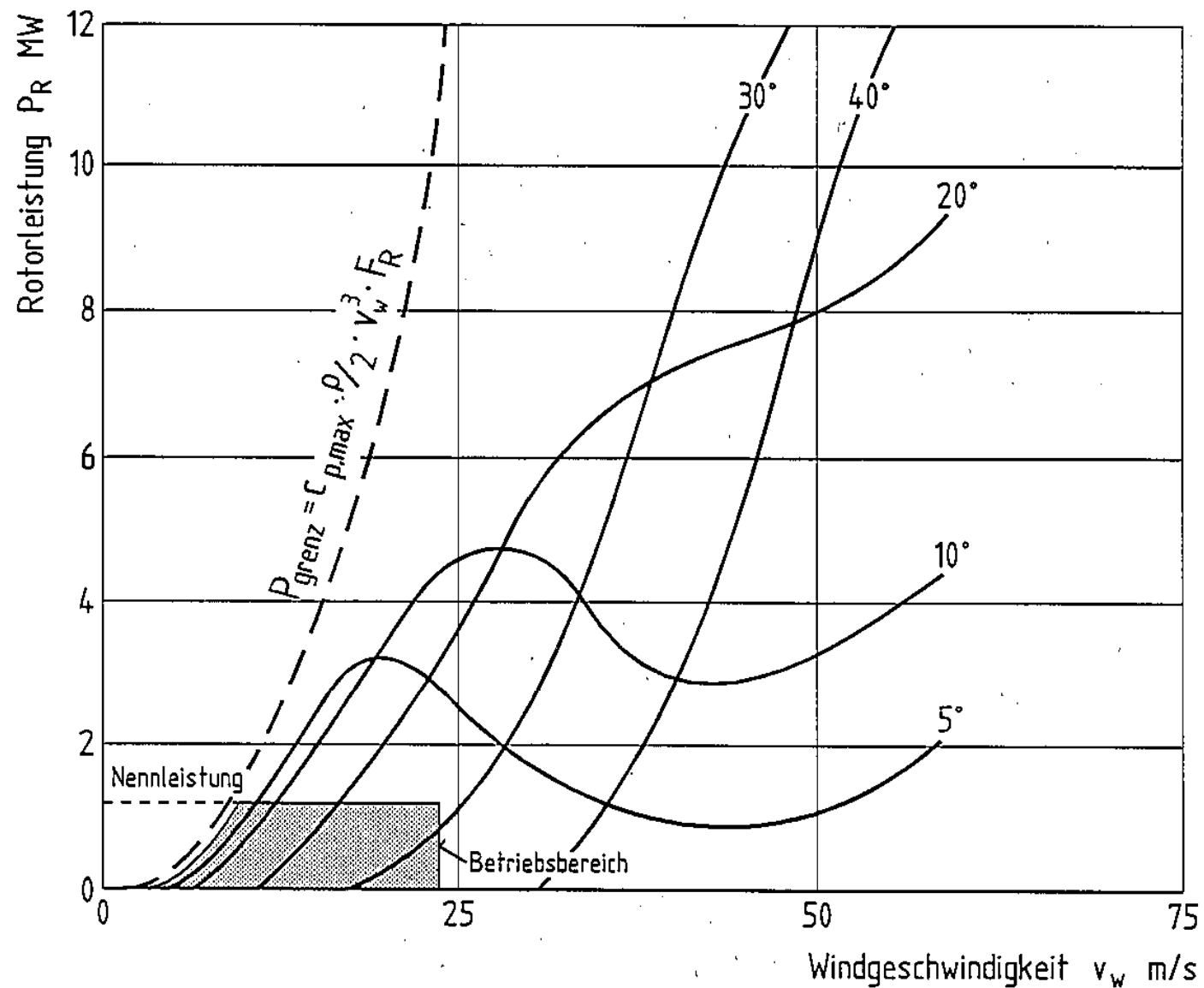
$$c_p = \lambda \cdot c_M$$

Kennlinienfeld - Momentenbeiwert





Rotorleistungskennlinien



Winddreiecke – Kräfterdreiecke

Geschwindigkeitsdreiecke

