



Aerodynamik

Leistungsregelung - Nachführung

KIT





EIFER

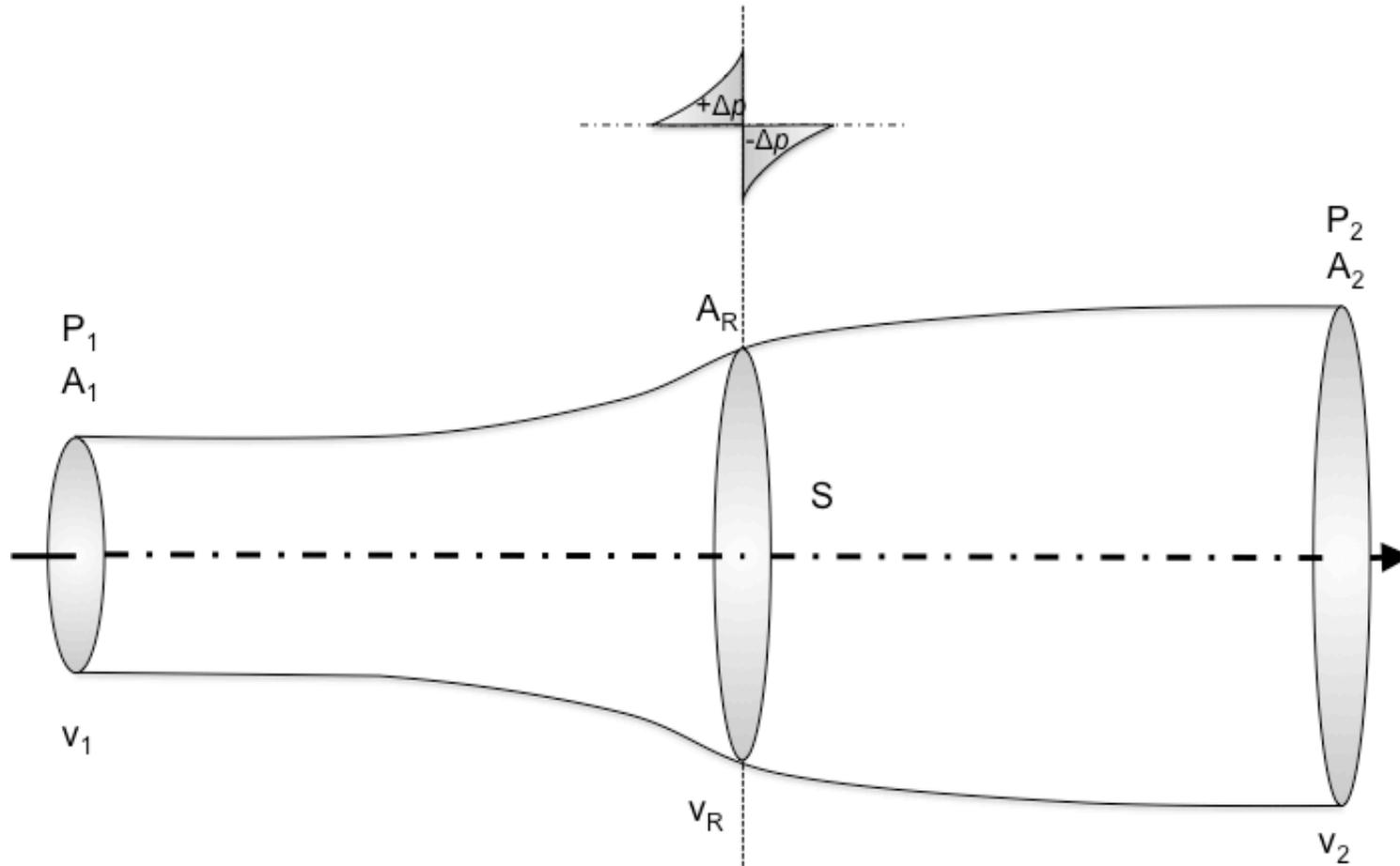
Überblick

- Rekapitulation Betz
- Leistungskennlinie
- Leistungsregelung
- Windrichtungsnachführung
- Aerodynamischer Zusammenhänge



Betz

Stromlinienverlauf 2D (Strömungsflasche)

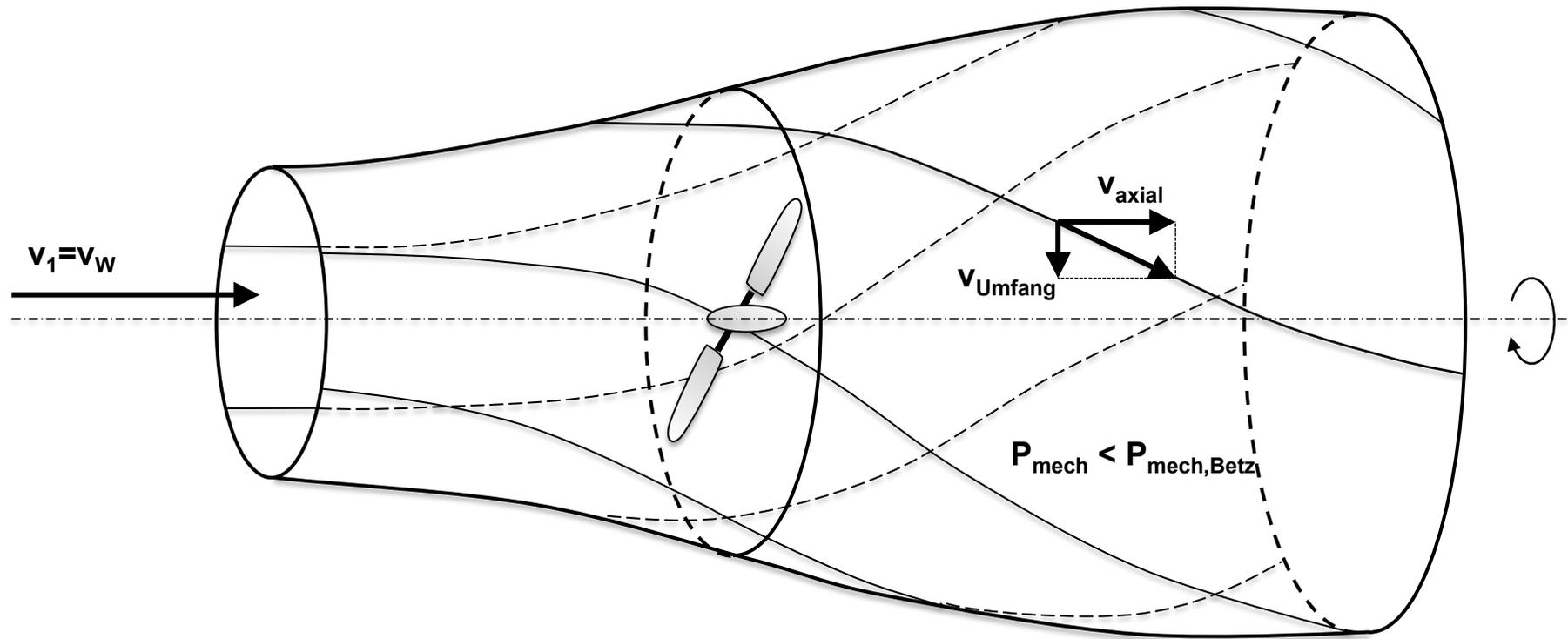


$$c_P = \frac{P_{Turbine}}{P_{Wind}} = \frac{P_{T,mec}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{Wind}^3 \cdot A_{Rotor}}$$



Betz

Drallverluste





Kenngrößen

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



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 Gesamttotorkreisfläche

Gleitzahl

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

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

Schnellaufzahl

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

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

v_w = Windgeschwindigkeit

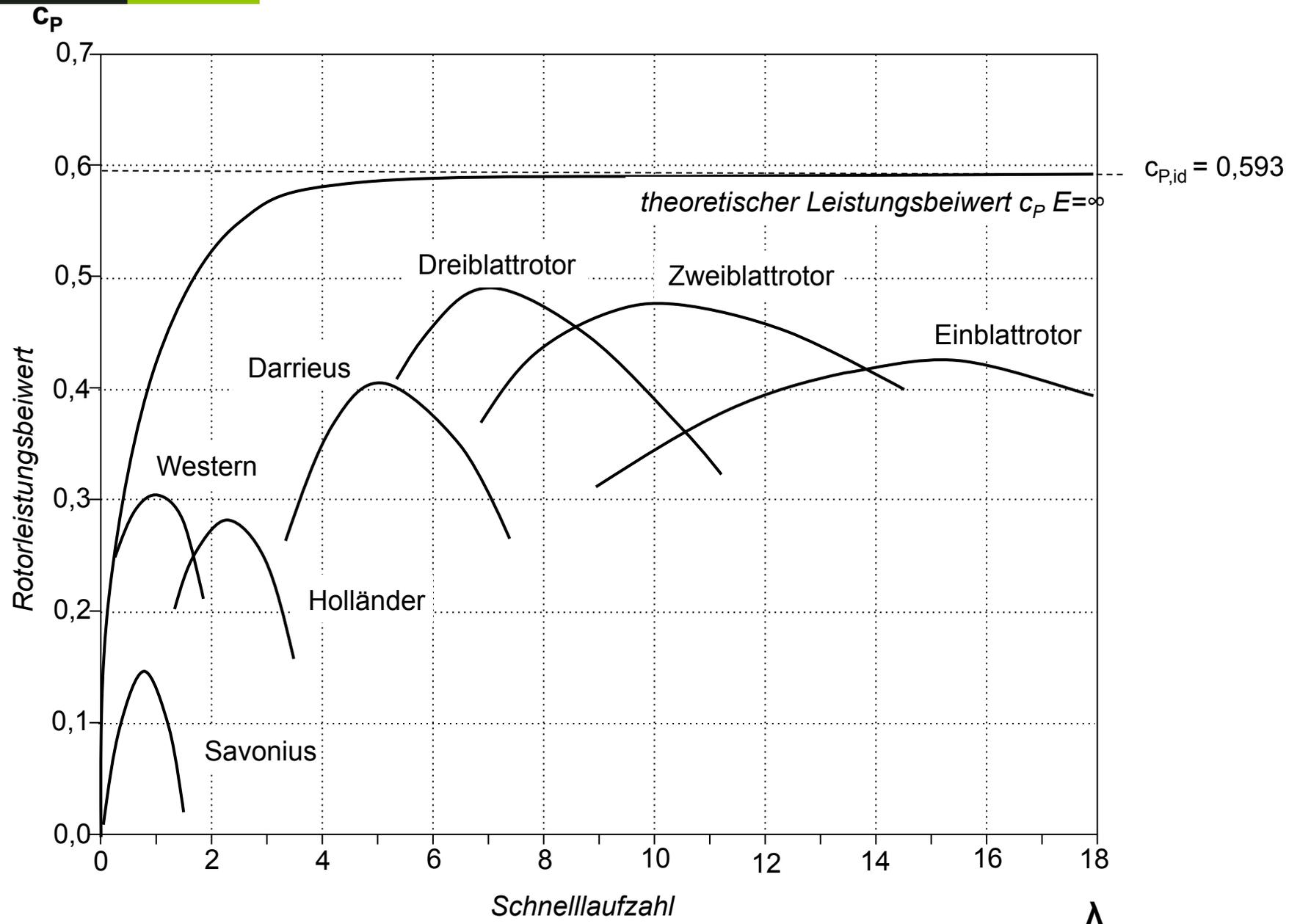
$$c_P = \lambda \cdot c_M$$



EIFER

Betz

Leistungsbeiwerte / Lamda

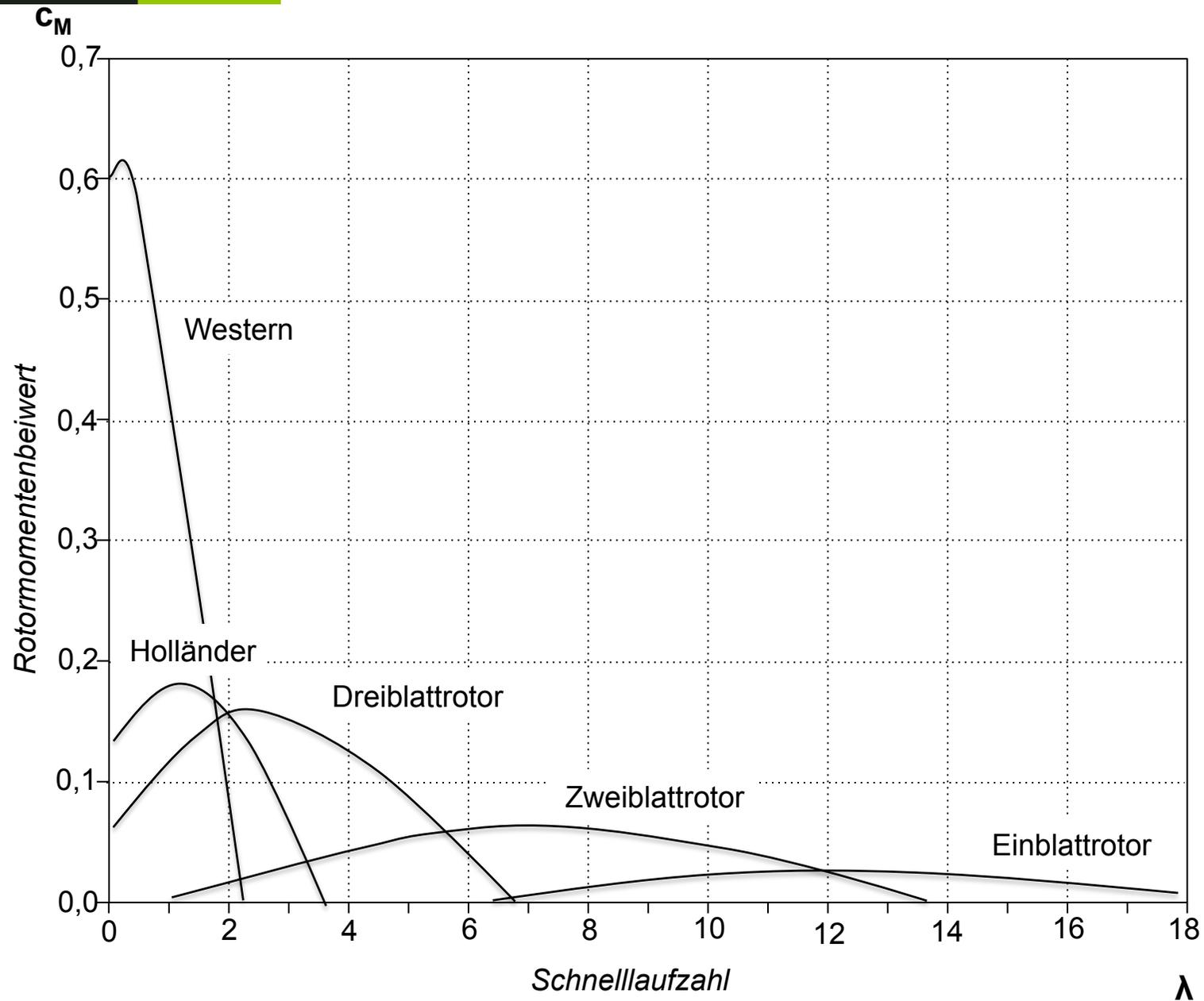




EIFER

Betz

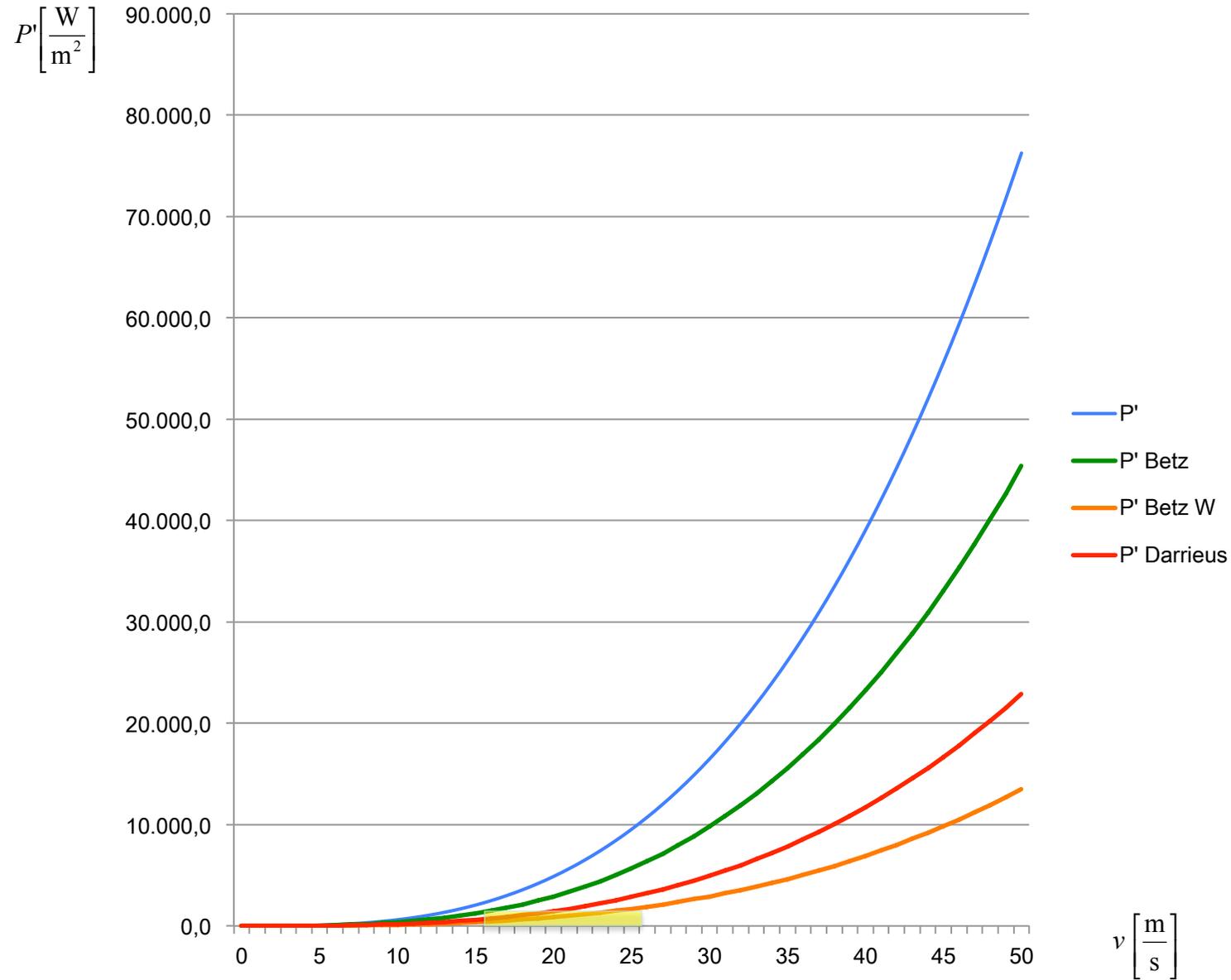
Momentenbeiwerte





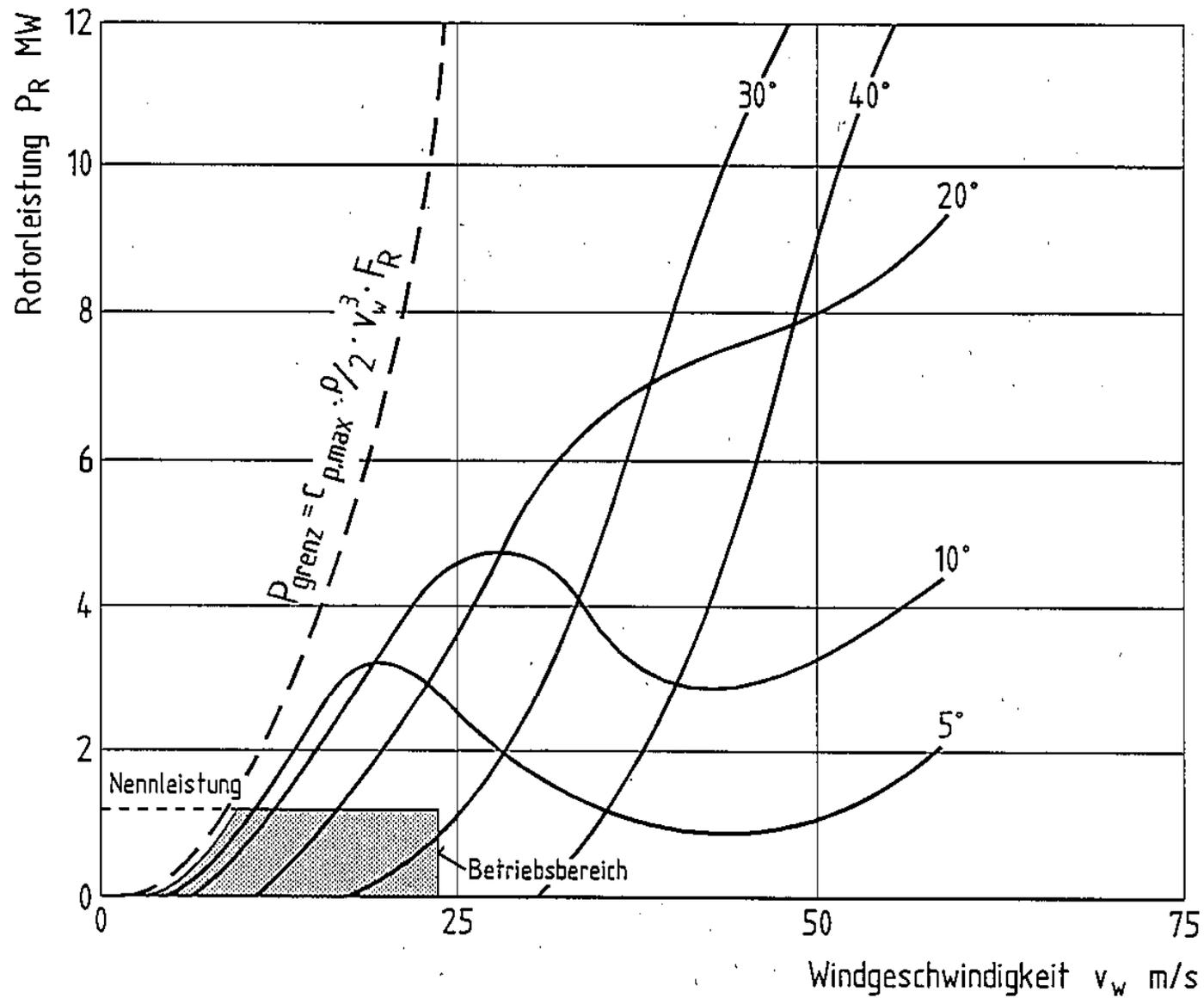
Spezifische Leistung

Reale Nutzung





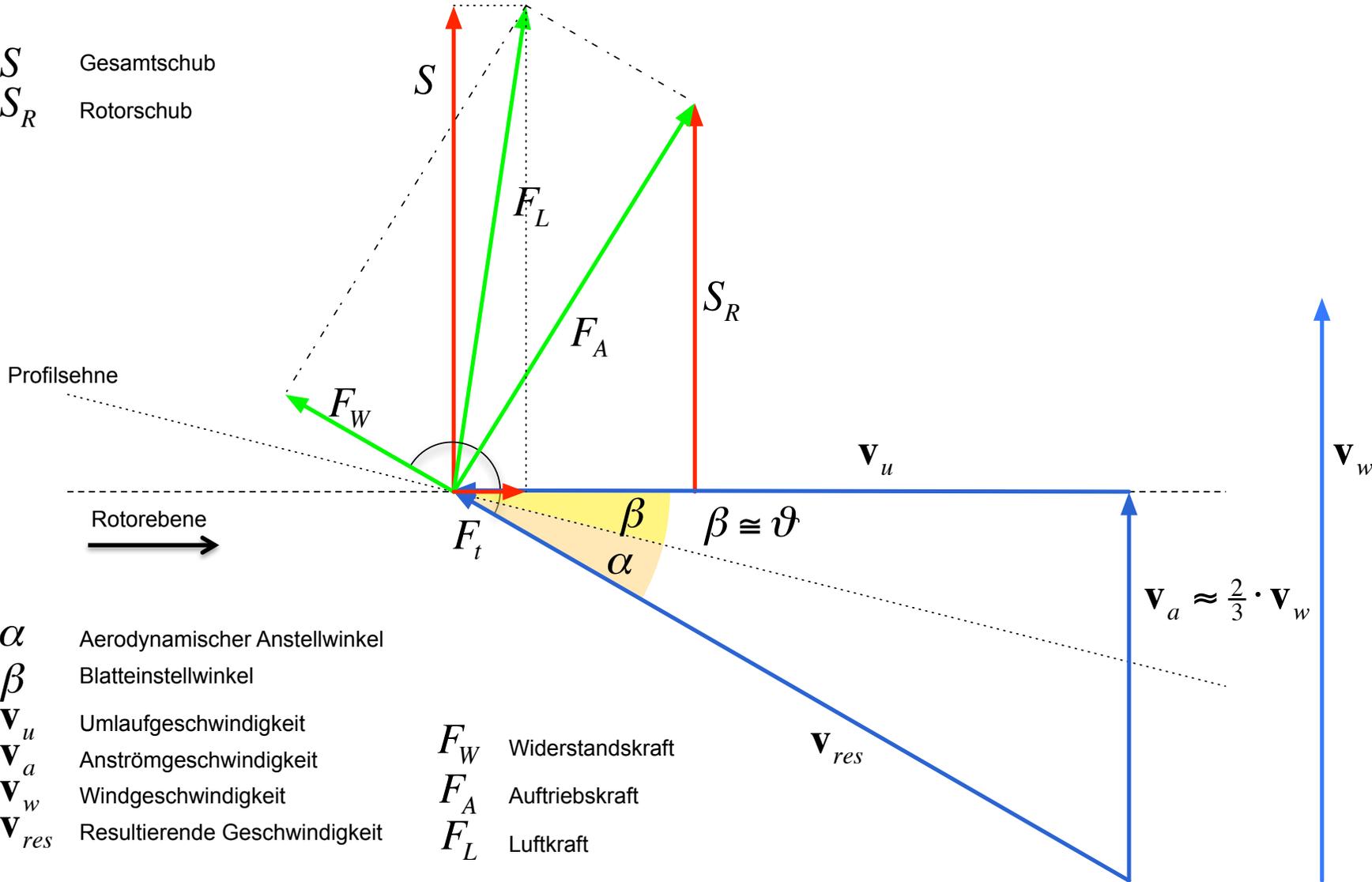
Rotorleistungskennlinien





Winddreiecke – Kräfte dreiecke Geschwindigkeitsdreiecke

S Gesamtschub
 S_R Rotorschub



α Aerodynamischer Anstellwinkel
 β Blatteinstellwinkel
 v_u Umlaufgeschwindigkeit
 v_a Anströmgeschwindigkeit
 v_w Windgeschwindigkeit
 v_{res} Resultierende Geschwindigkeit

F_W Widerstandskraft
 F_A Auftriebskraft
 F_L Luftkraft



EIFER

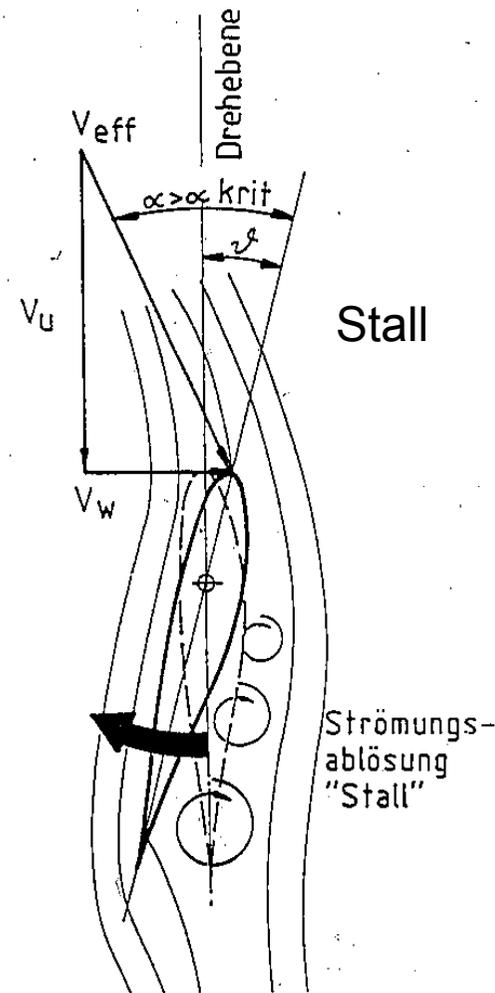
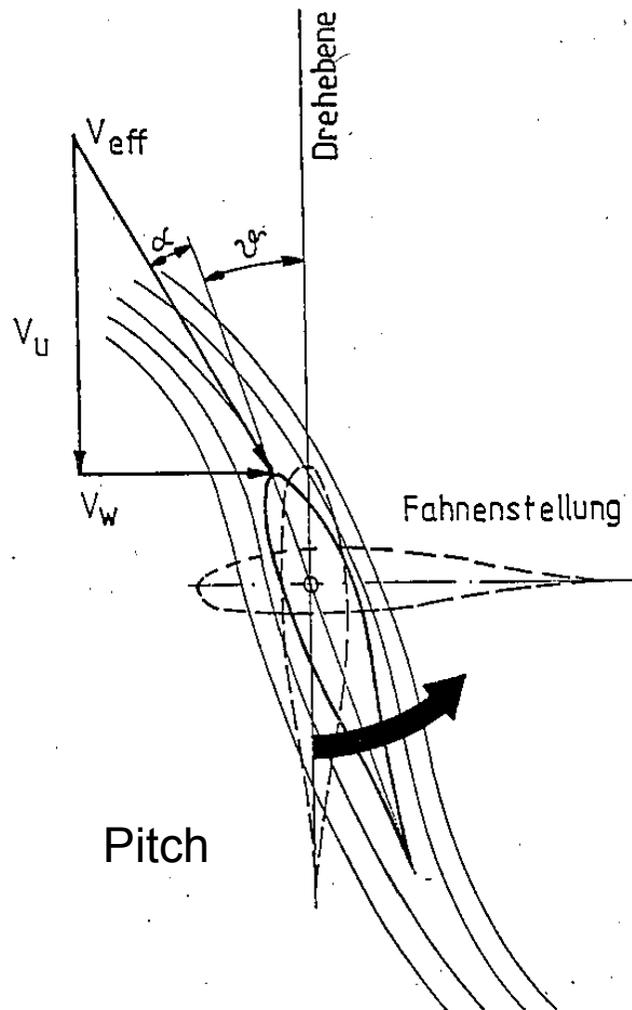
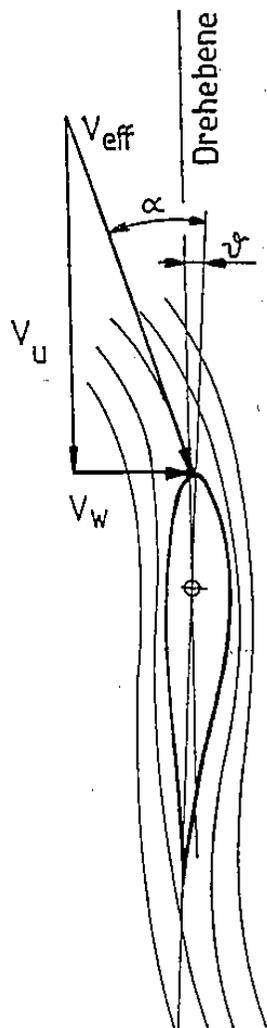
Leistungsregelung aerodynamisch

- Pitch (aktiv)
 - Aktive Reduzierung von α
- Stall (aktiv)
 - Aktive Vergrößerung von α bis Strömungsabriss durch α (kritisch)
- Stall (passiv)
 - Strömungsabriss durch α (kritisch)
- Aus dem Wind drehen
 - Schräganströmung



Leistungsregelung

Pitch – Stall aktiv

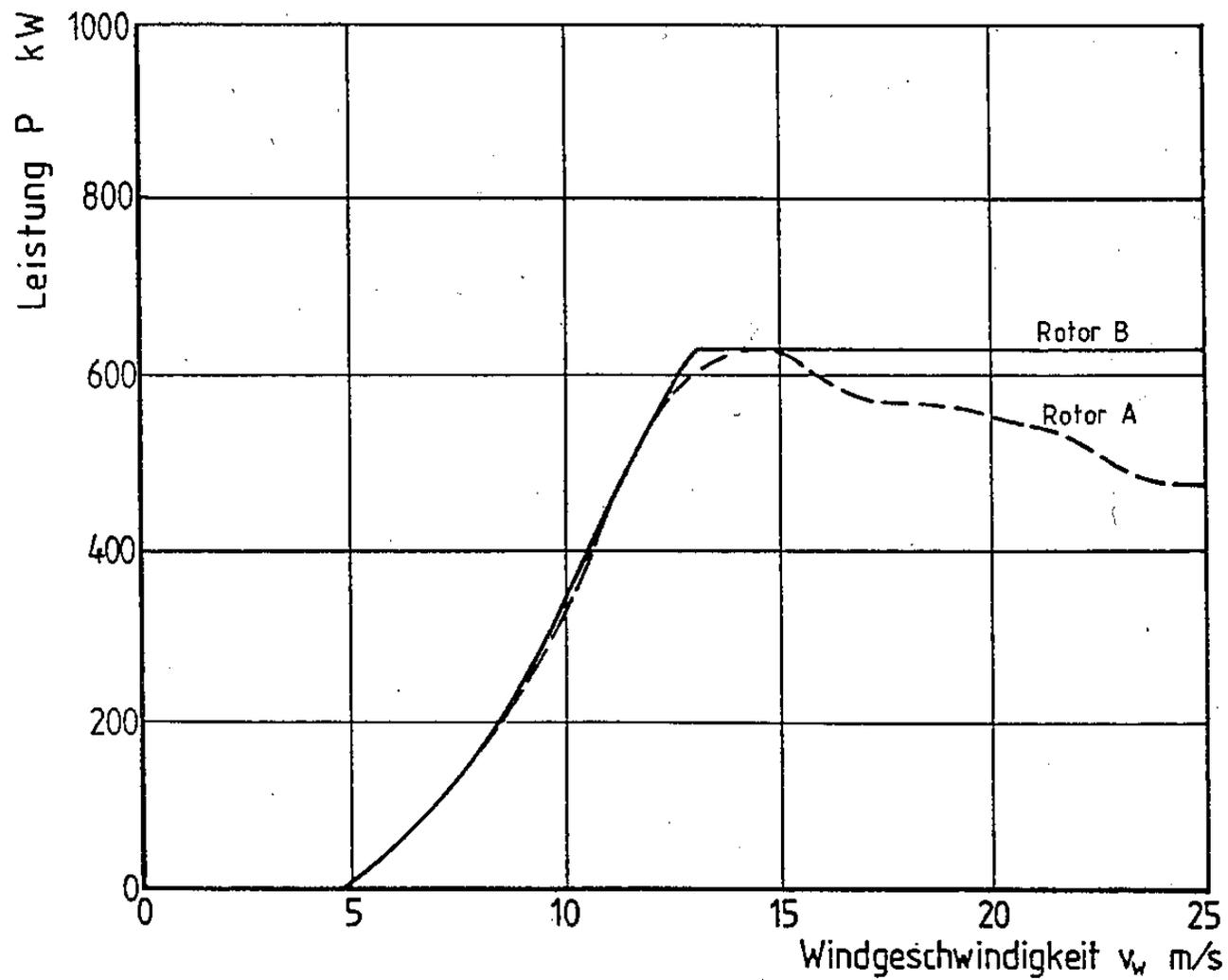




EIFER

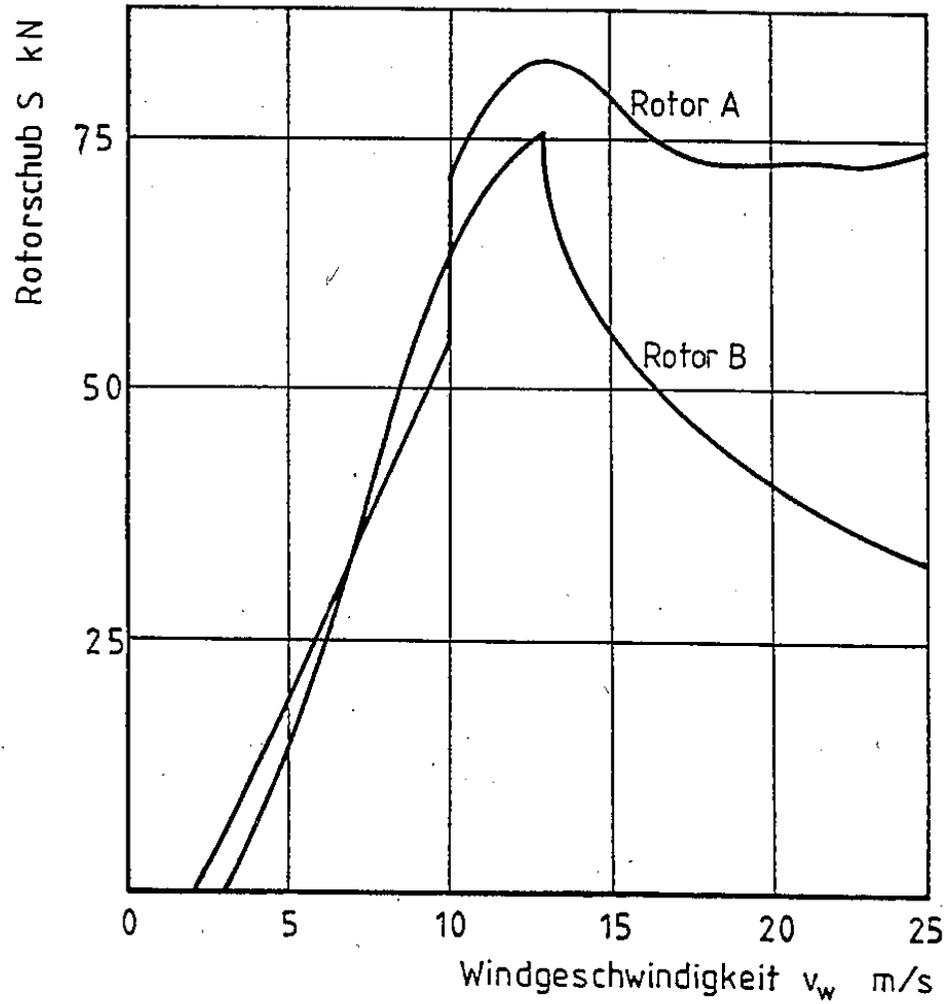
Leistungsregelung

Leistungsaufnahme





Leistungsregelung Rotorschub

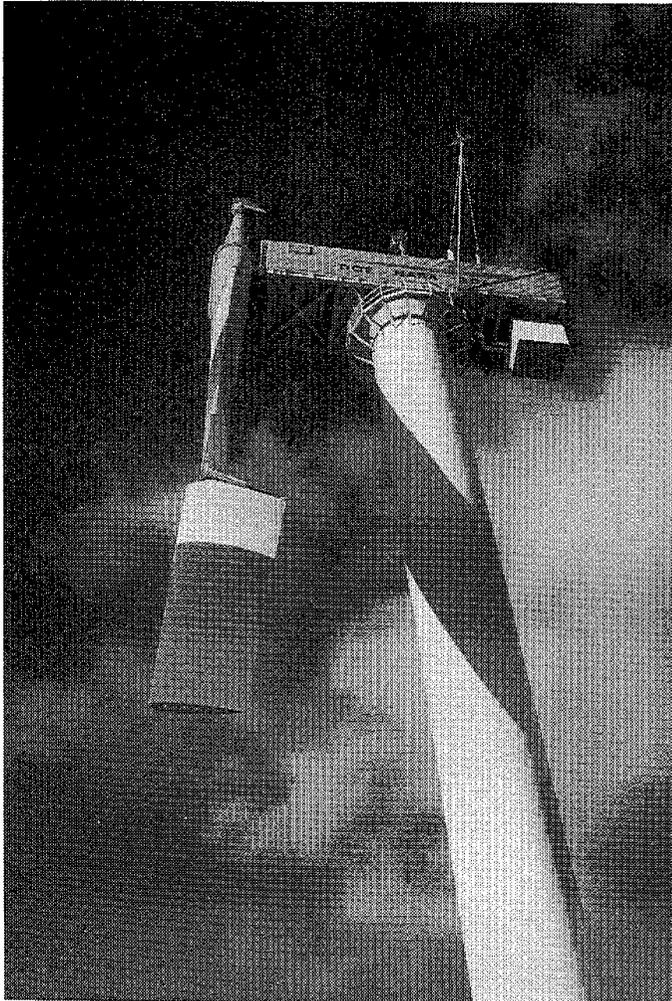


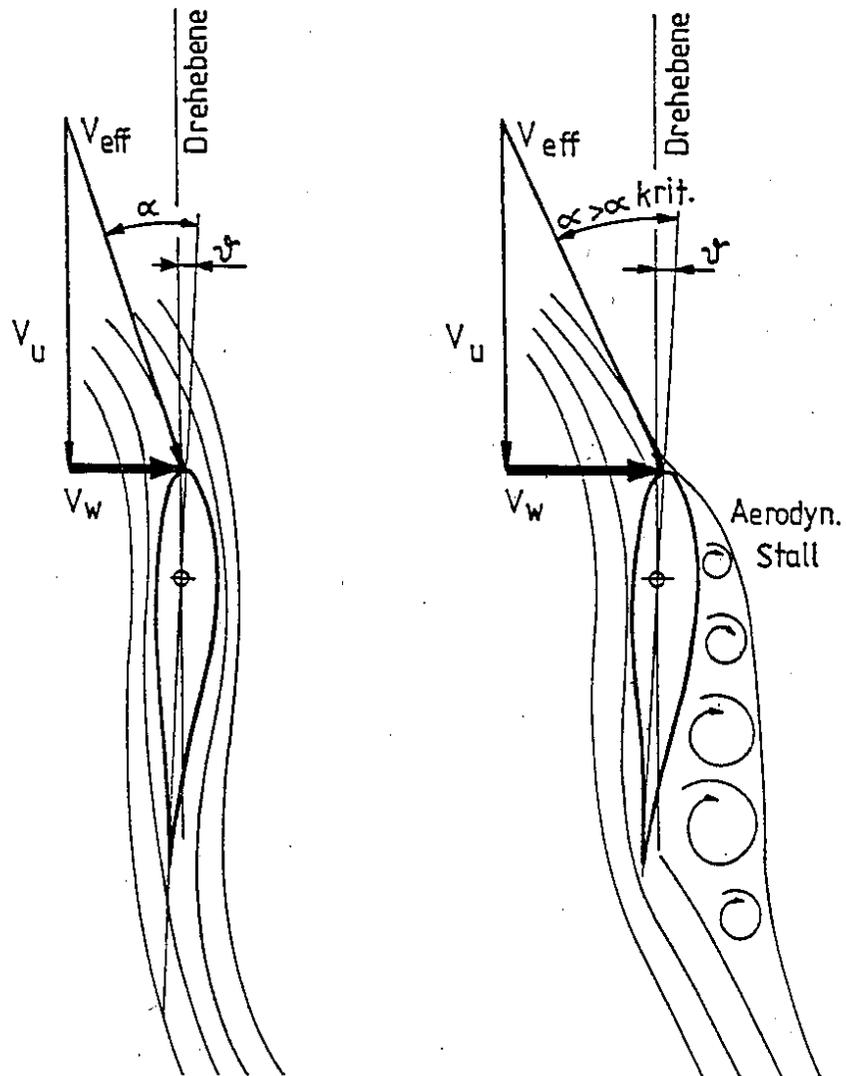


EIFER

Leistungsregelung

Teilblattverstellung



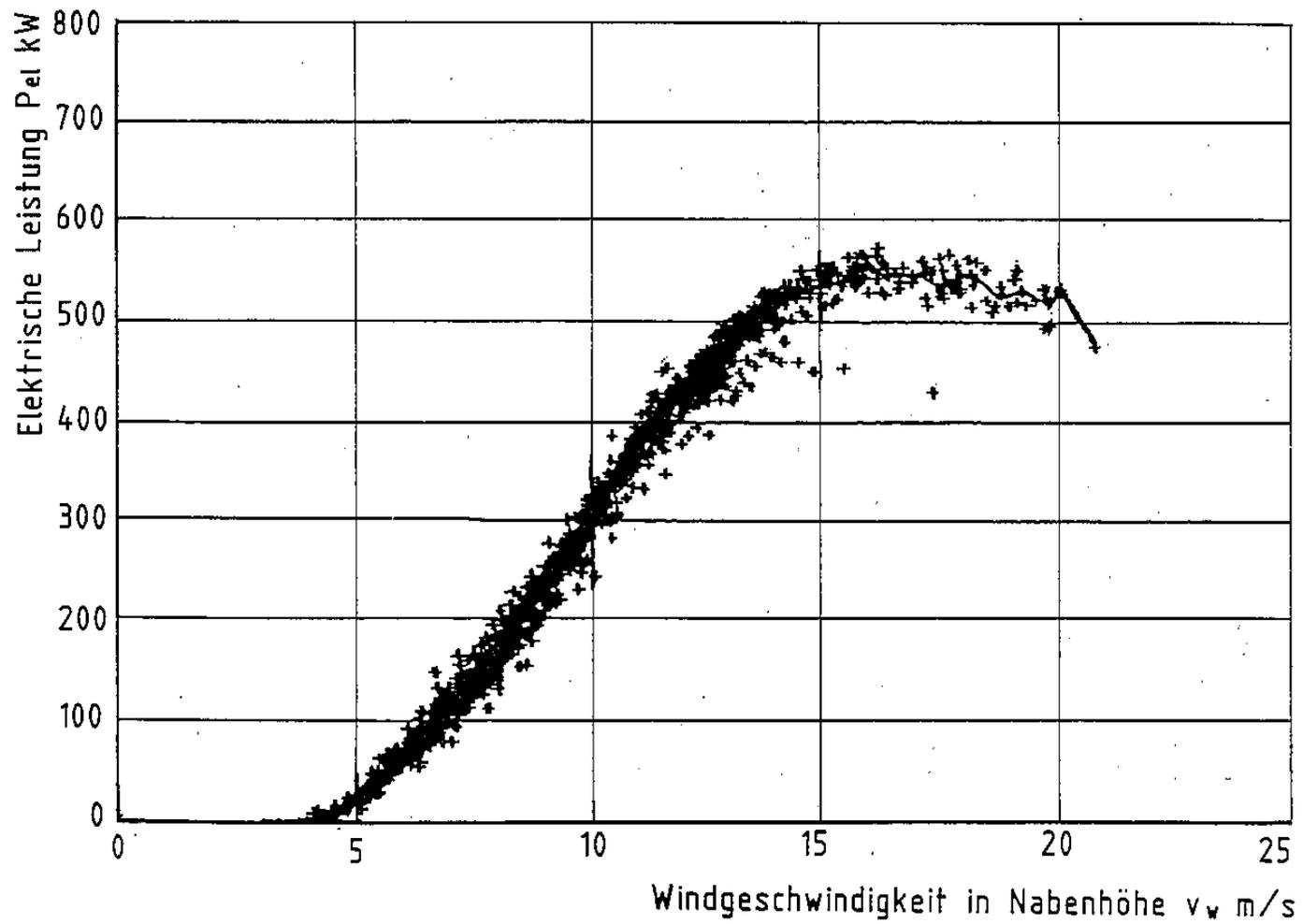




EIFER

Leistungskennlinie

Stall - passiv

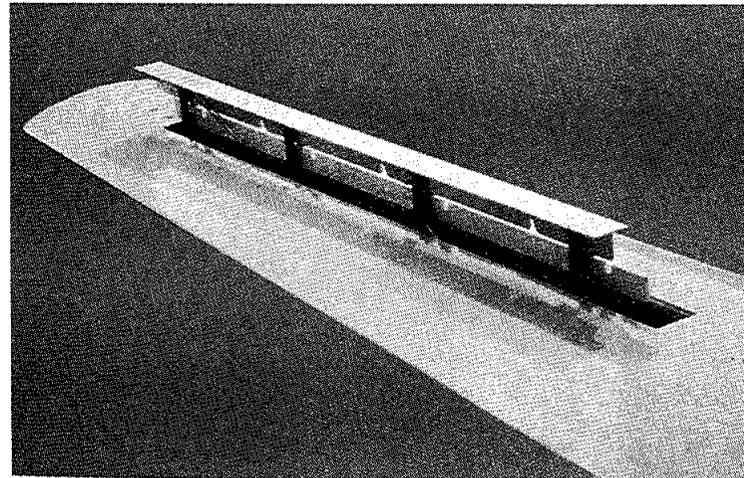
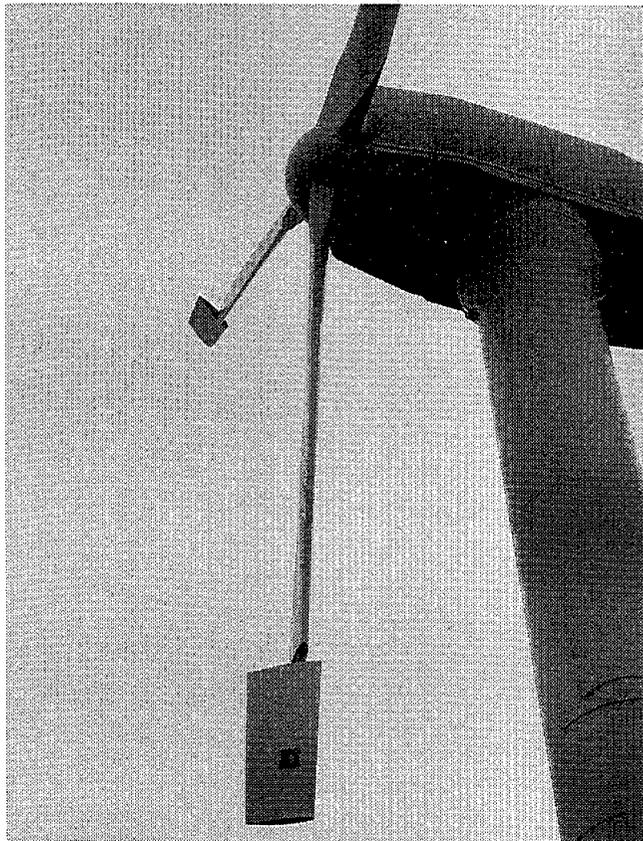


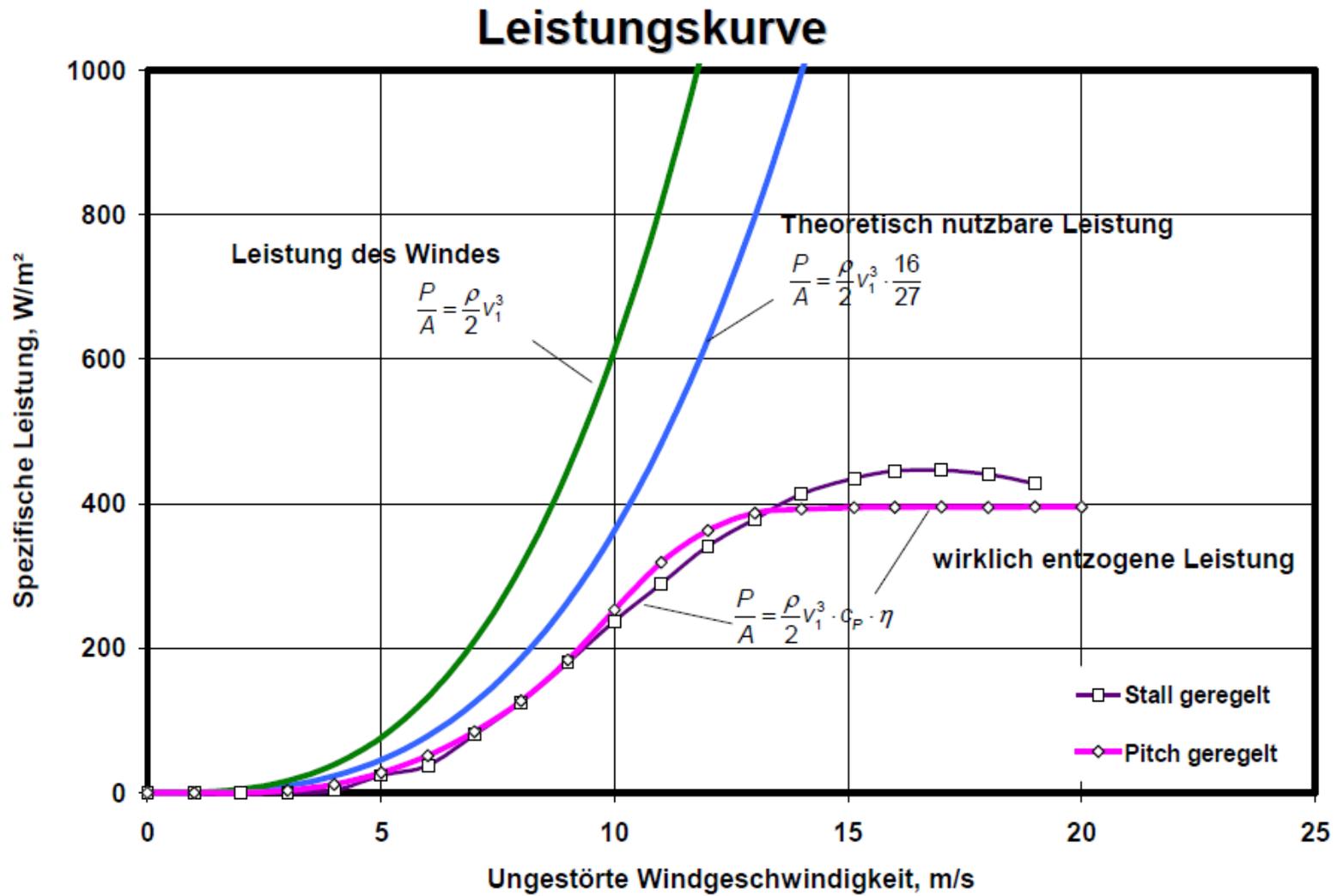


EIFER

Leistungsregelung

Stall – passiv

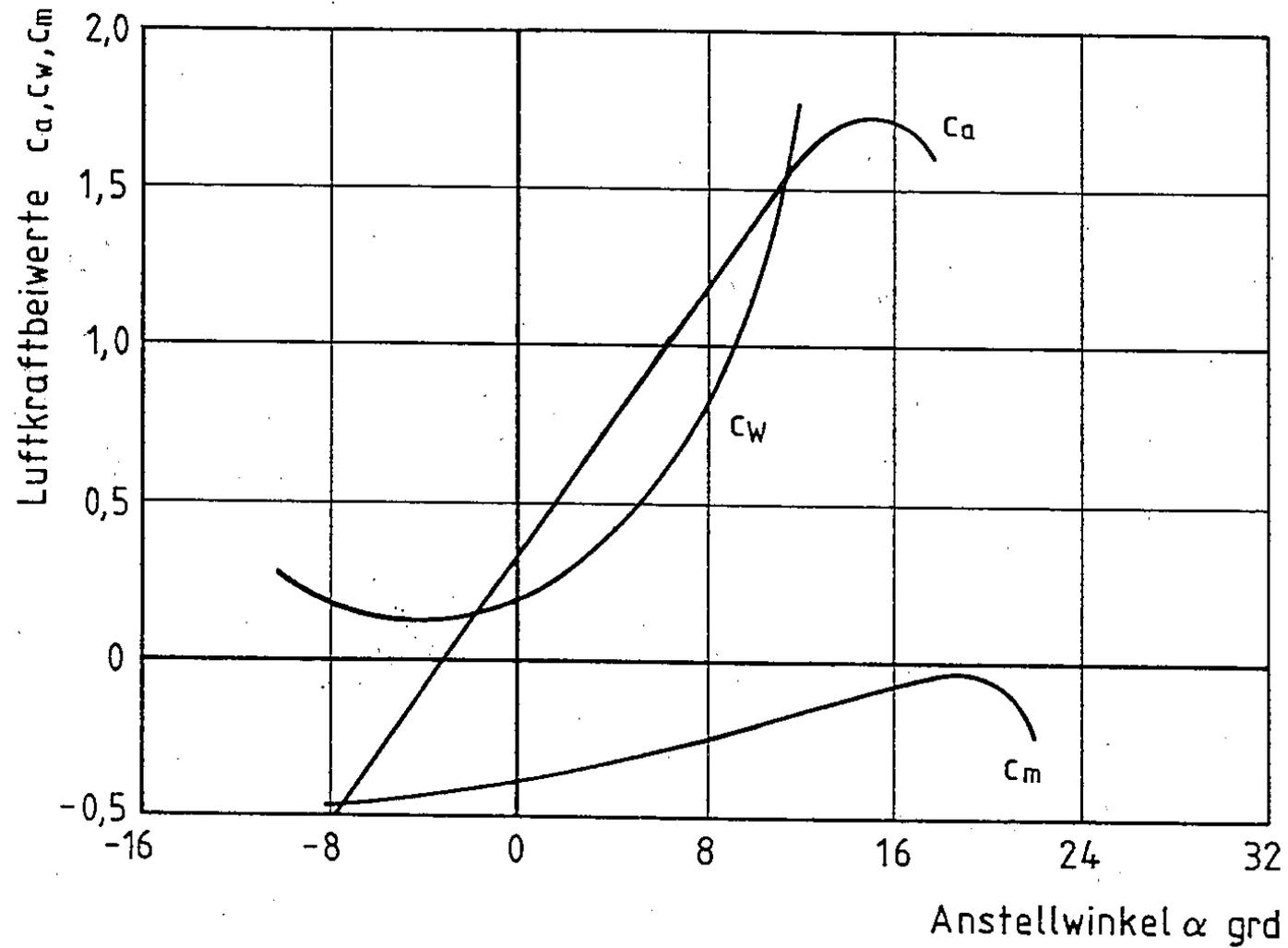






Leistungsregelung

Lilienthalsche Polare – aufgelöstes Polardiagramm

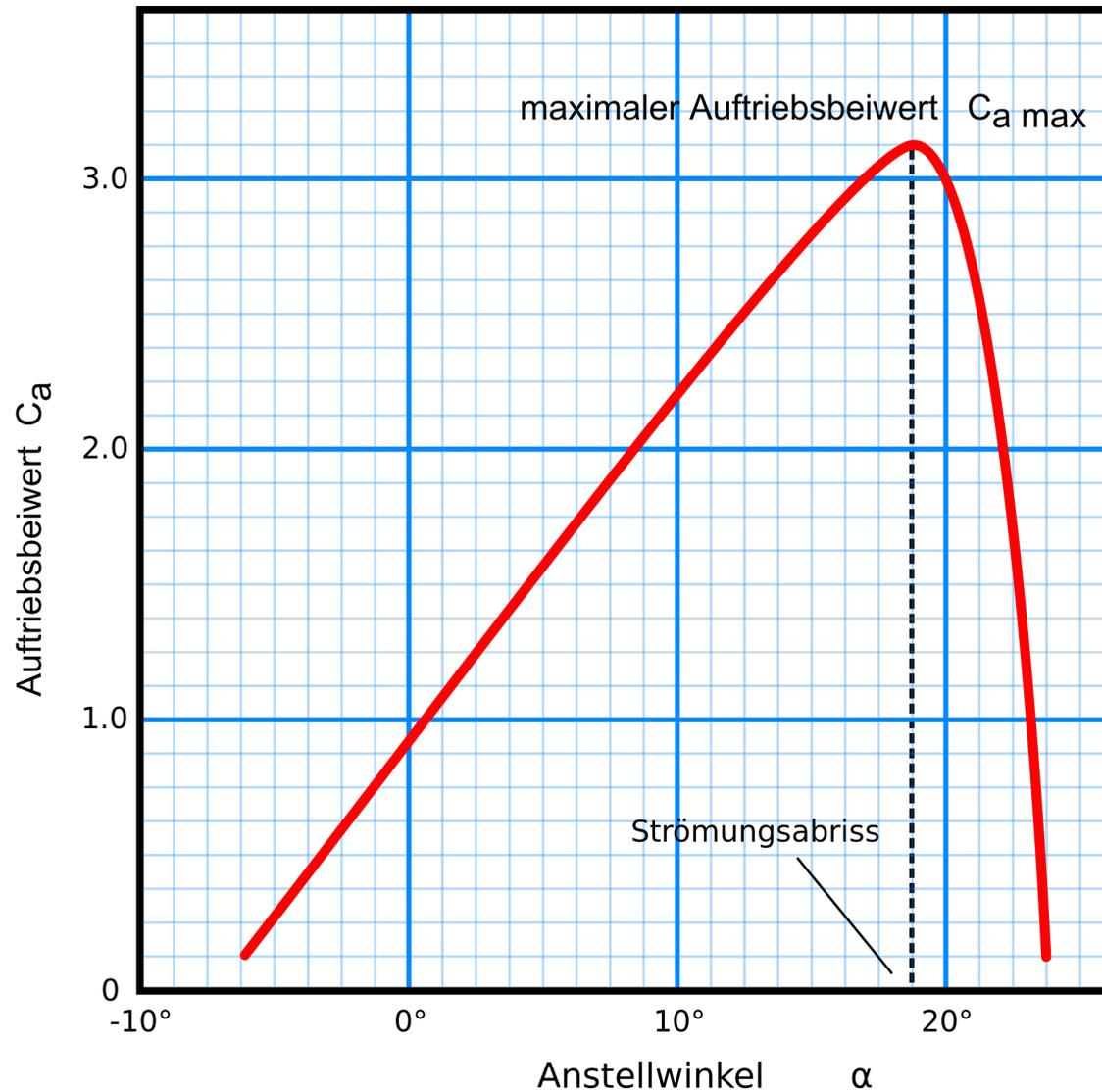




EIFER

Leistungsregelung

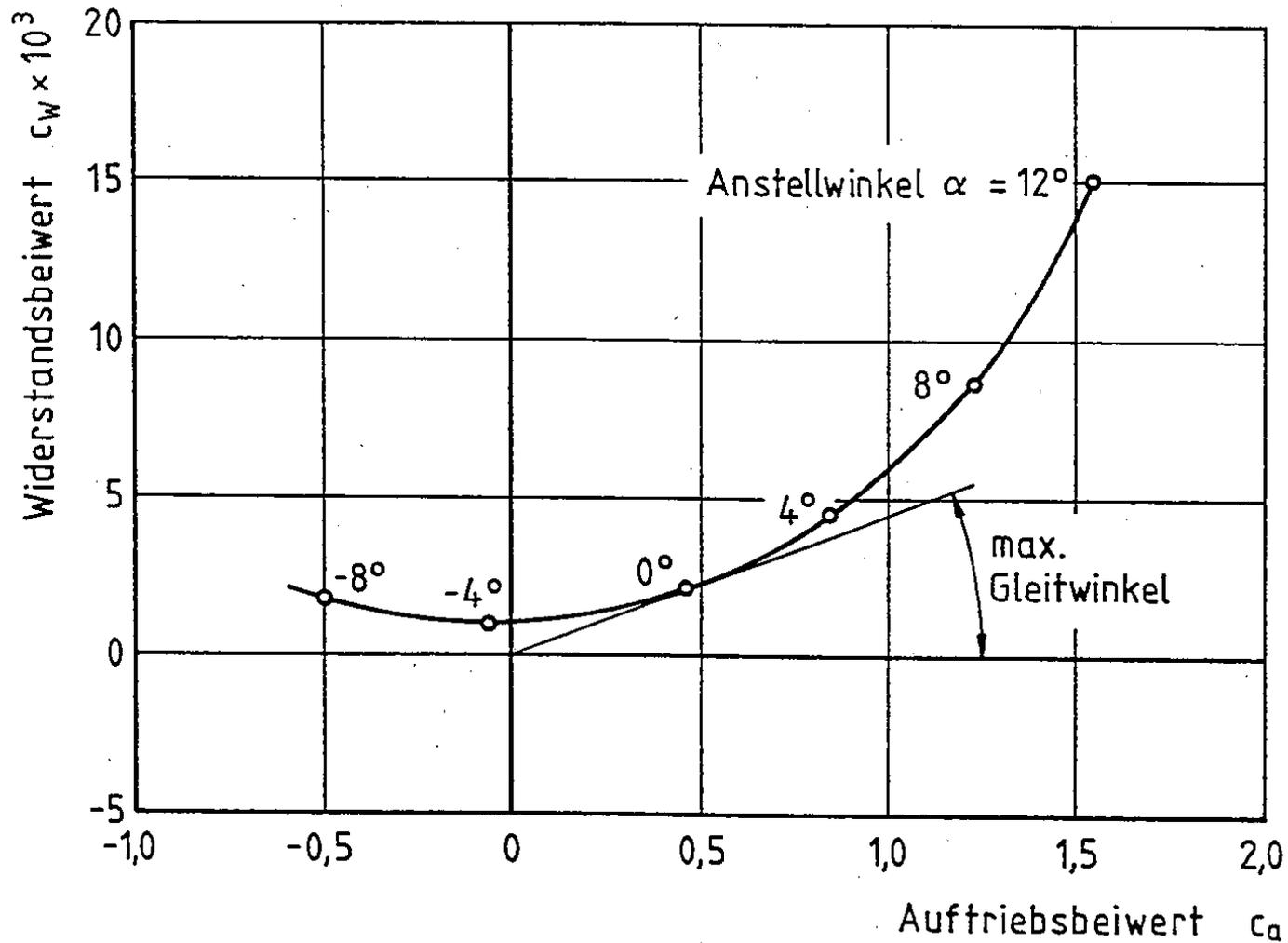
Lilienthalsche Polare – aufgelöstes Polardiagramm





EIFER

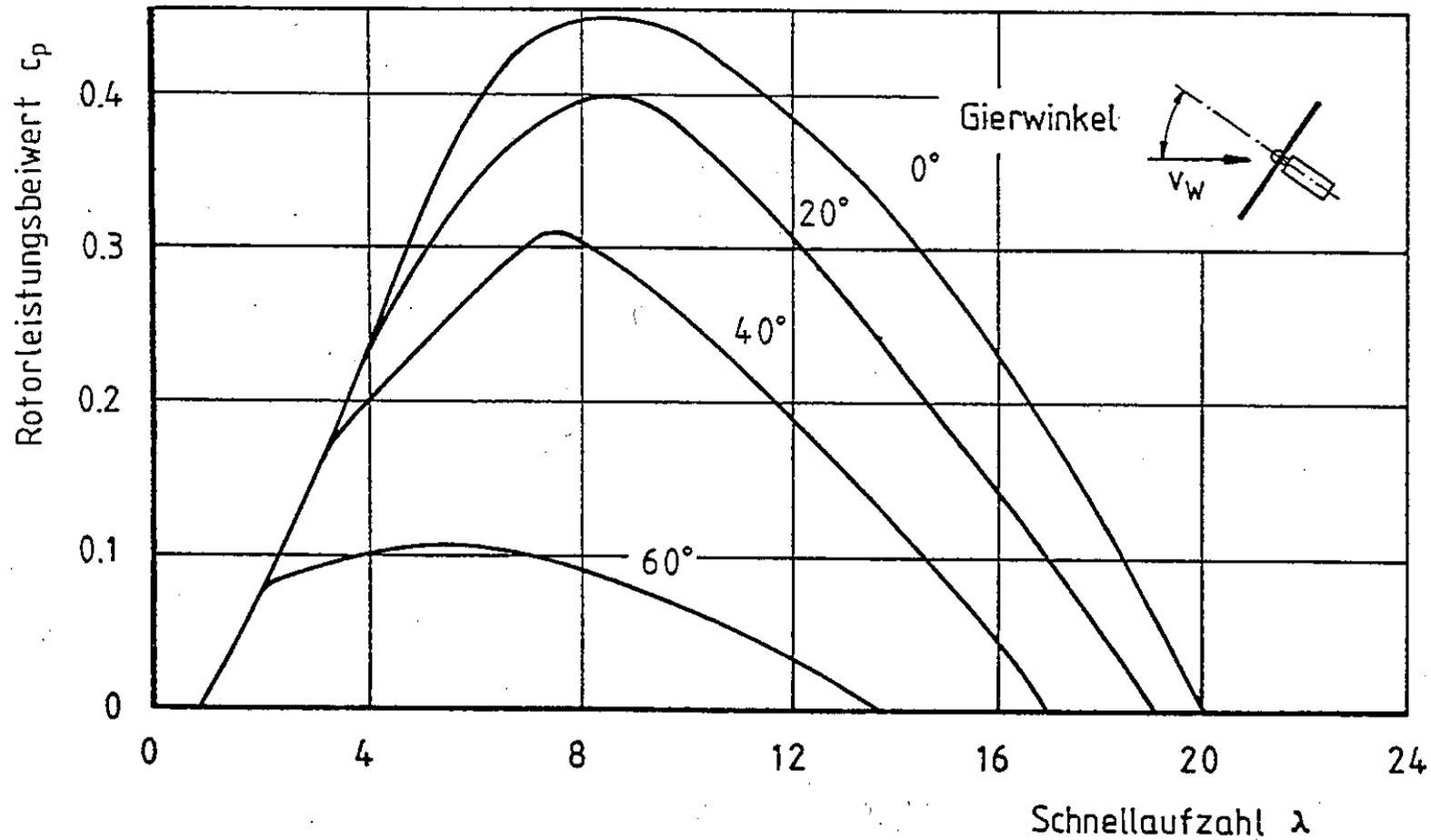
Leistungsregelung amerikanische Polare





Leistungsregelung

Aus dem Wind nehmen

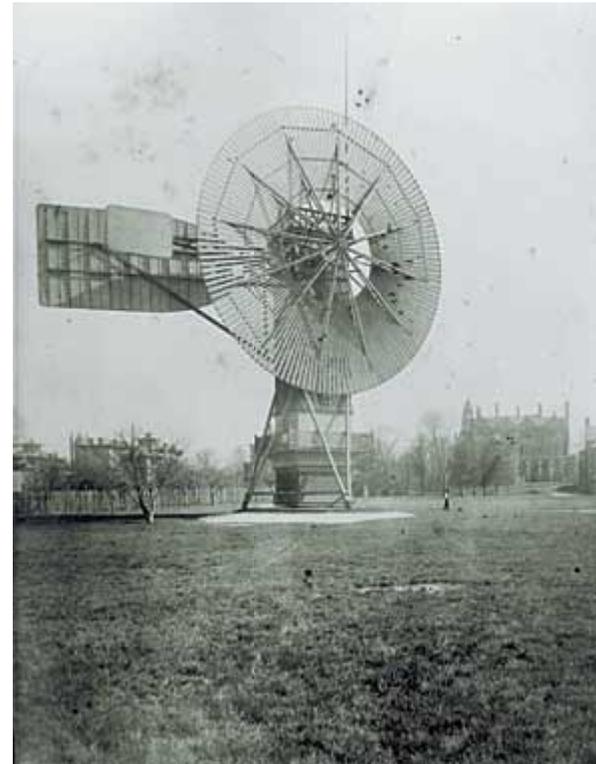




EIFER

Leistungsregelung

Aus dem Wind drehen - Beispiel

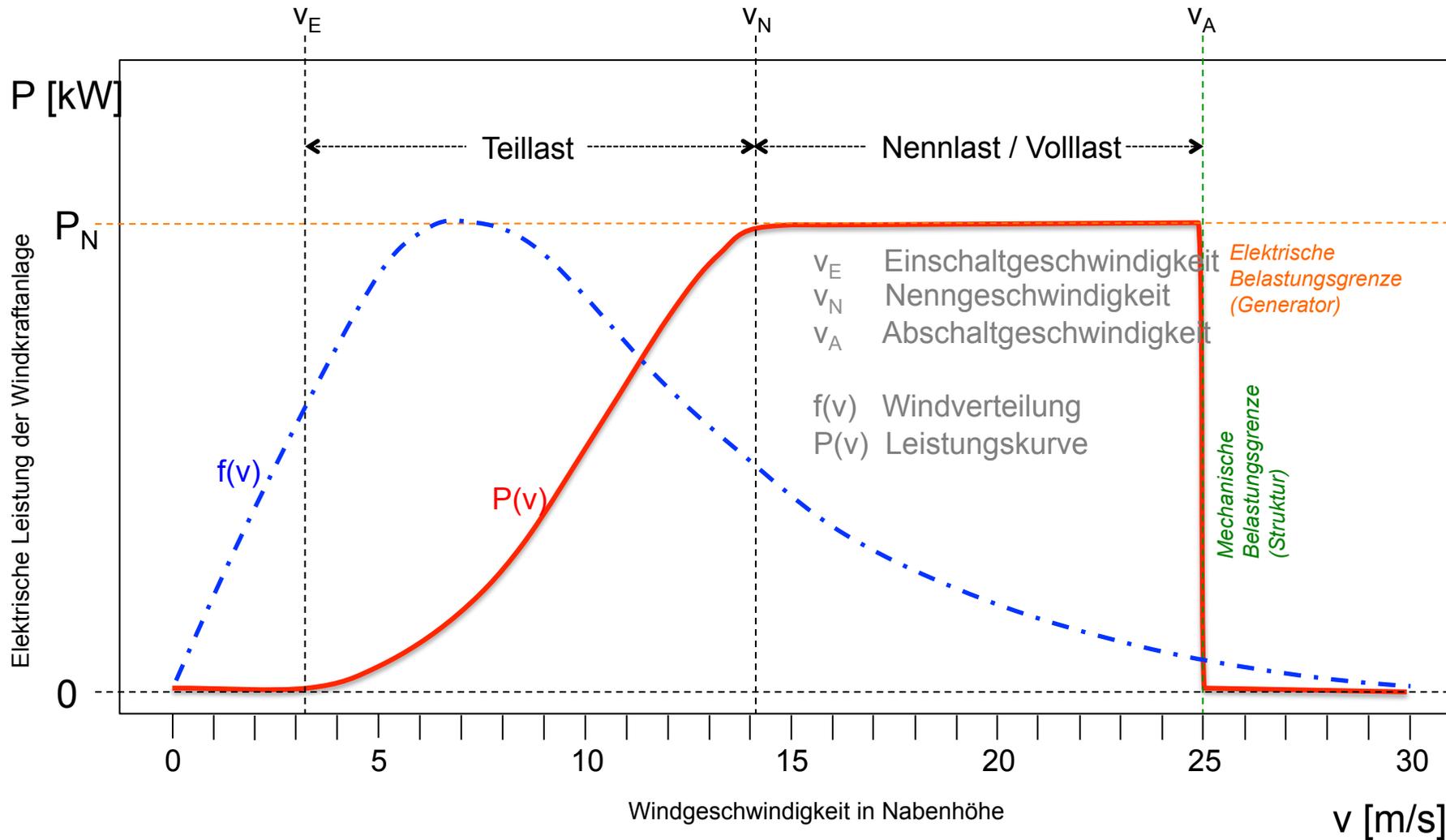




EIFER

Leistungskurve

elektrische Abgabeleistung





EIFER

Windrichtungsnachführung

- Windfahne
- Seitenrad
- Lee-Läufer
- Azimutantrieb
- Darrieus



EIFER

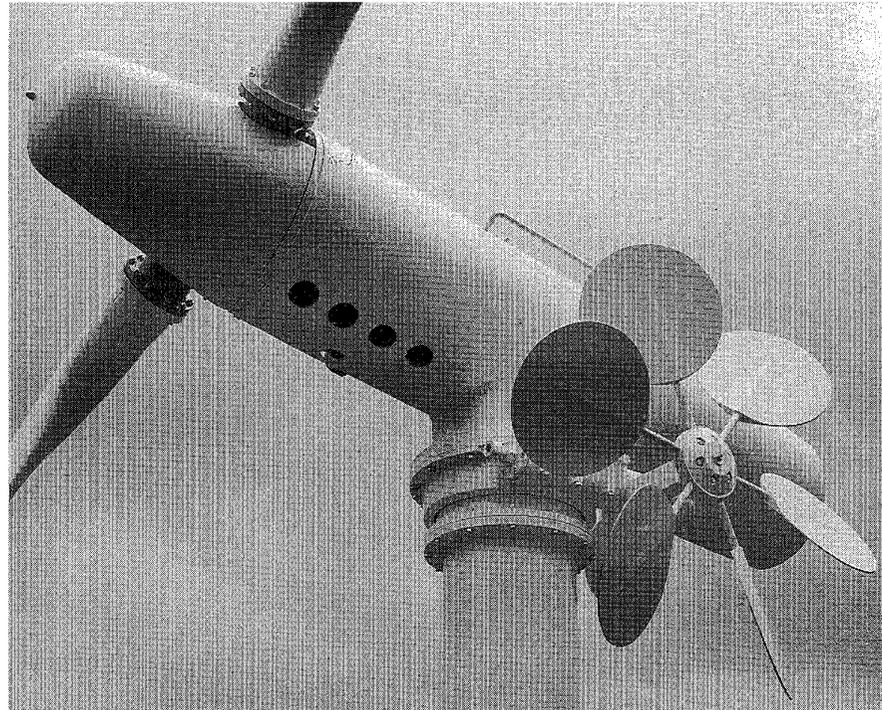
Windrichtungsnachführung Windfahne





EIFER

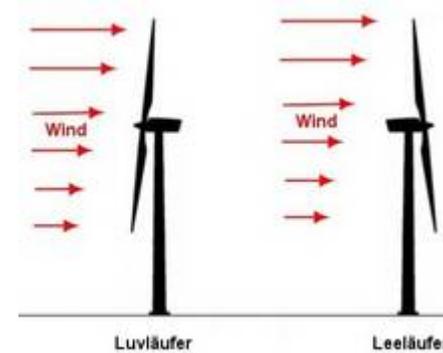
Windrichtungsnachführung Seitenrad





EIFER

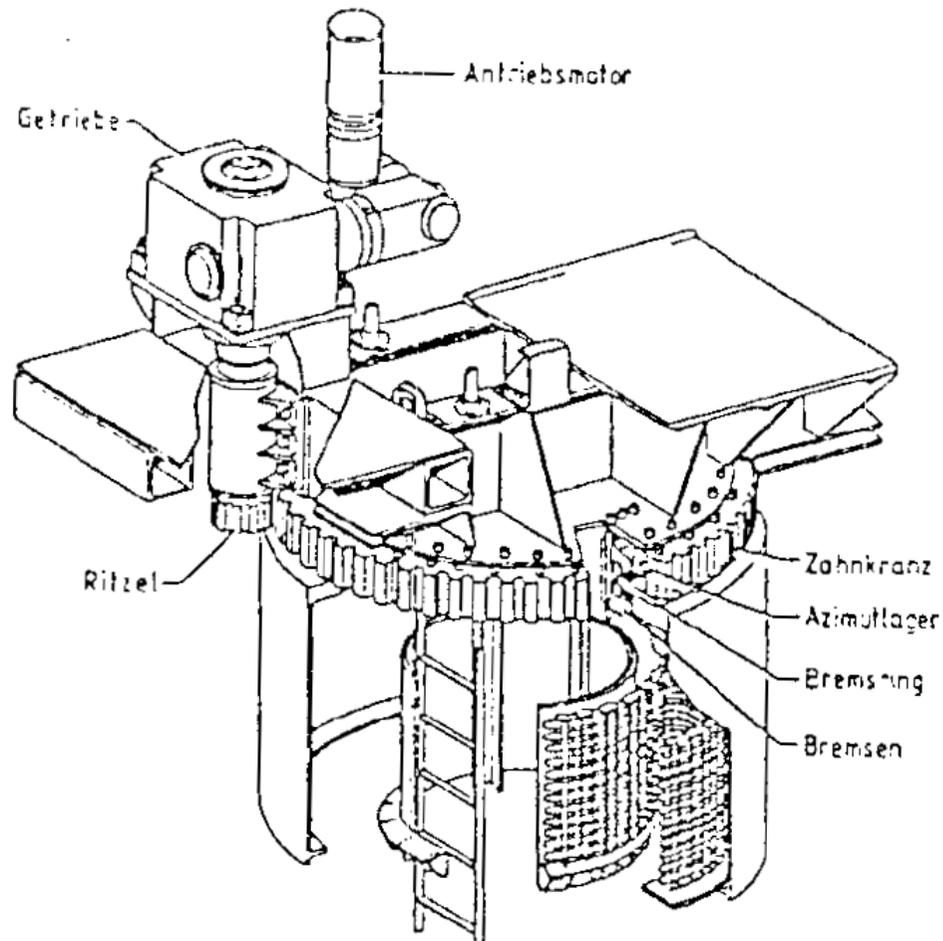
Windrichtungsnachführung Lee-Läufer





EIFER

Windrichtungsnachführung Azimutantrieb





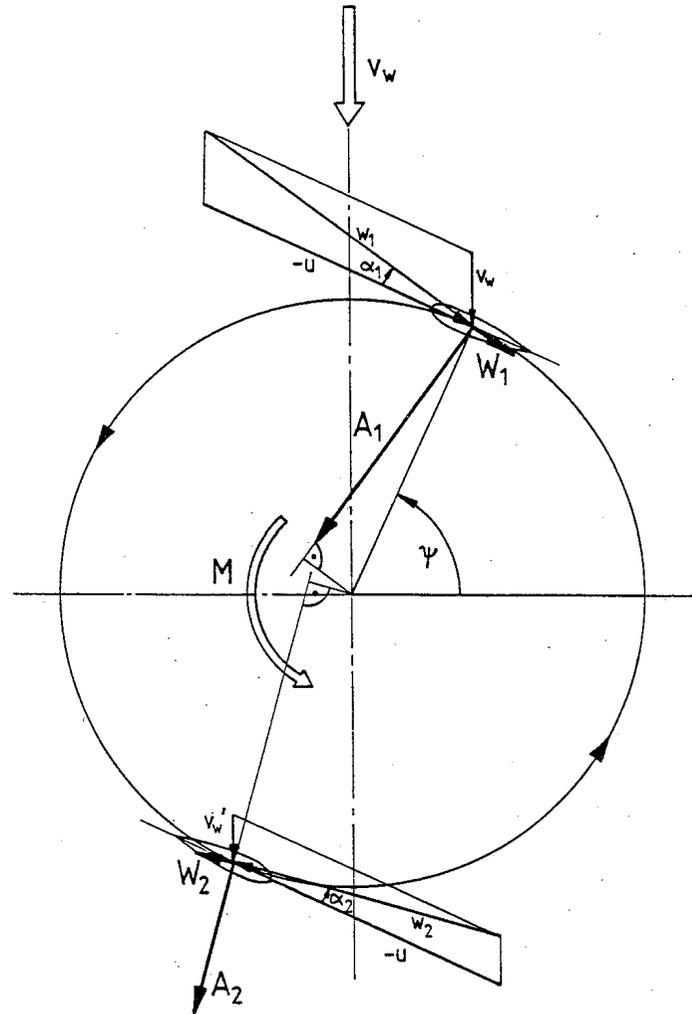
EIFER

Windrichtungsnachführung Darrieus





Darrieus Funktion

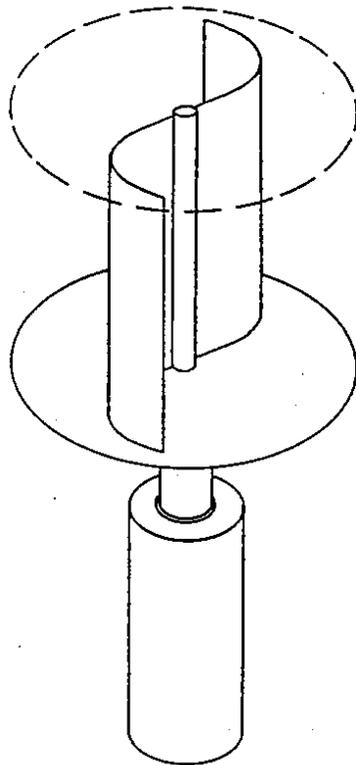




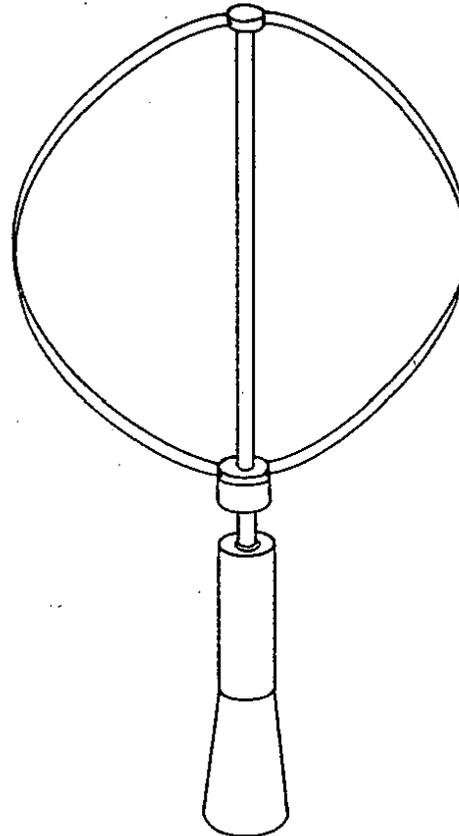
EIFER

Darrieus Bauformen

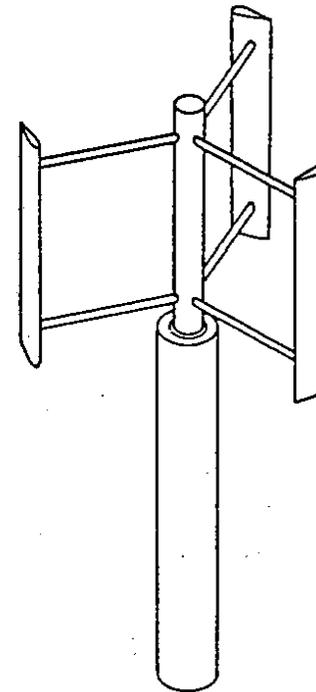
Savonius-Rotor

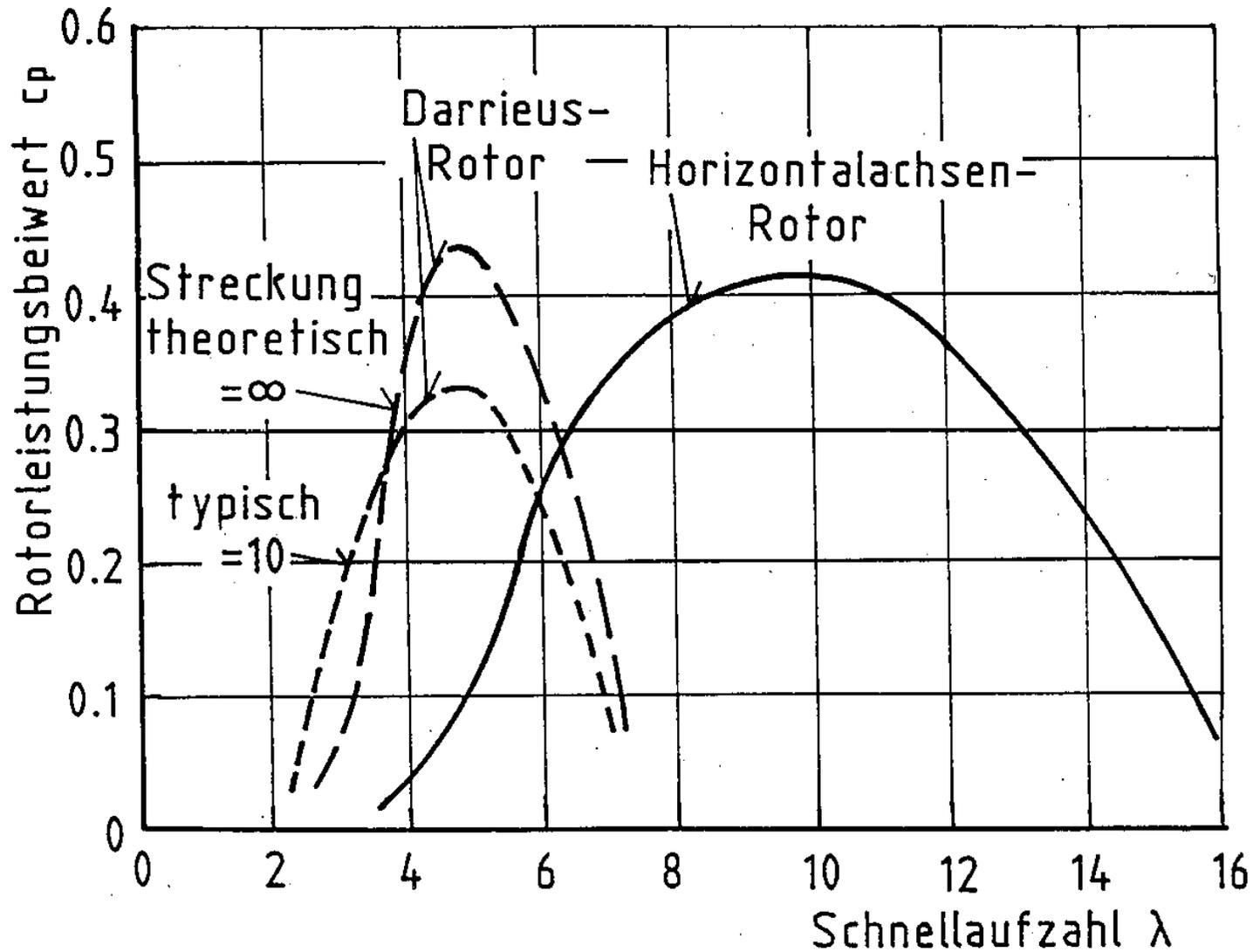


Darrieus-Rotor



H-Darrieus-Rotor







Aerodynamische Zusammenhänge

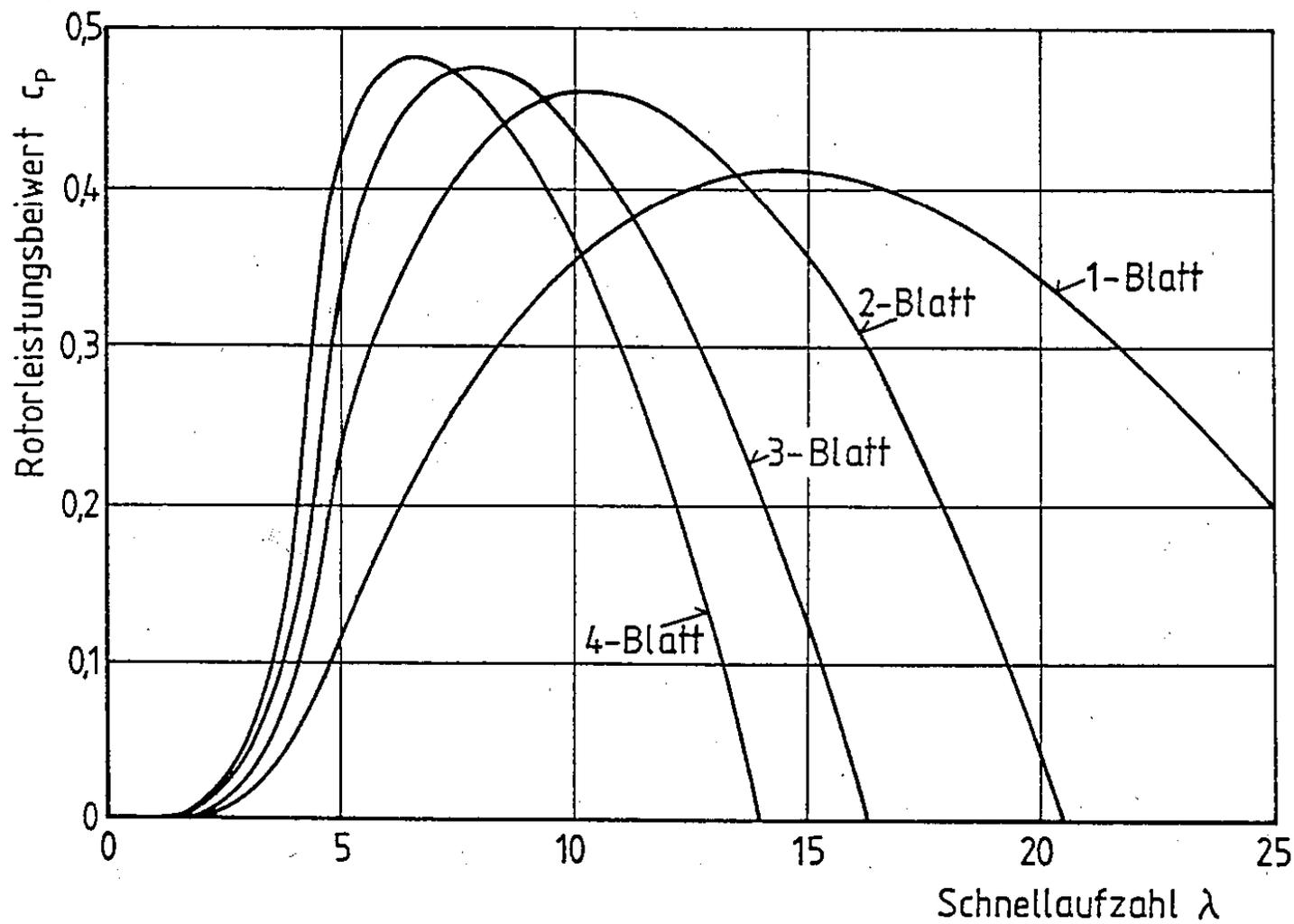
Optimierung mittels Kompromissen

- Leistungsbeiwerte
 - Auftrieb
 - Widerstand
- Kosten / Bauteile
 - Oberflächenvergütung
 - Blattzahl
 - Gewicht
 - ...
- Die meisten Kennzahlen stehen im Widerspruch zueinander



Aerodynamische Zusammenhänge

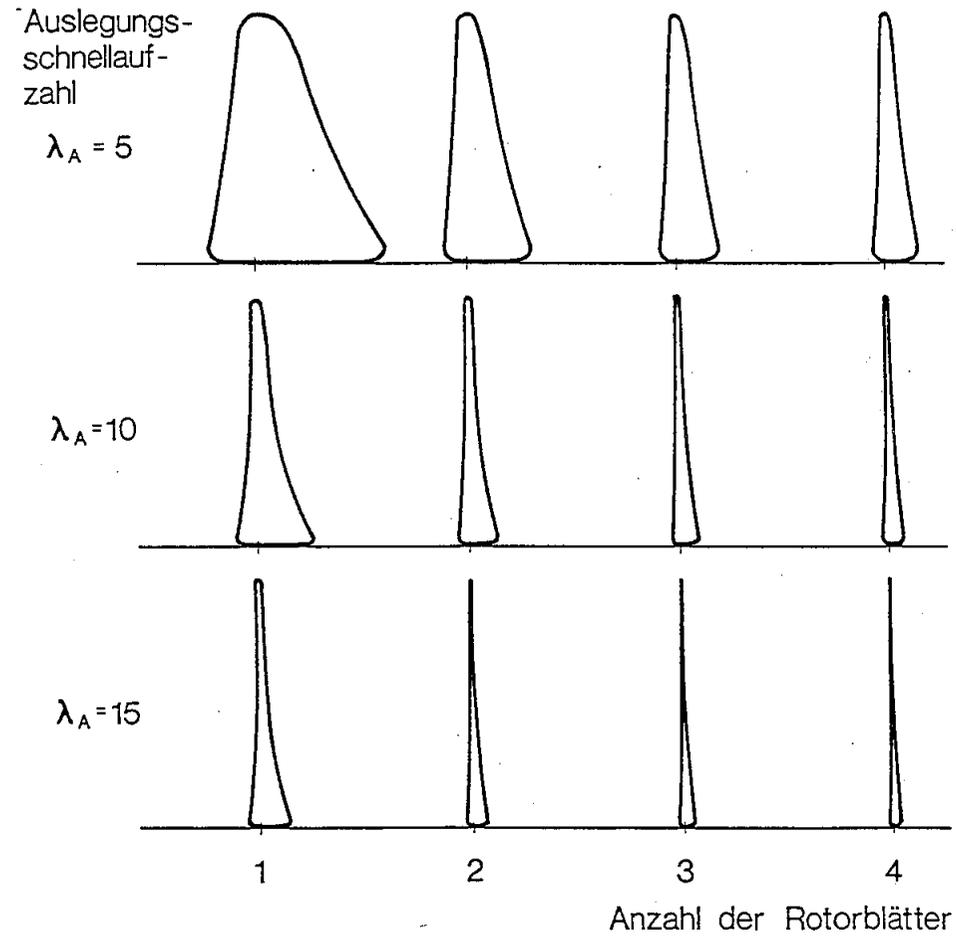
Blattzahl





Aerodynamische Zusammenhänge

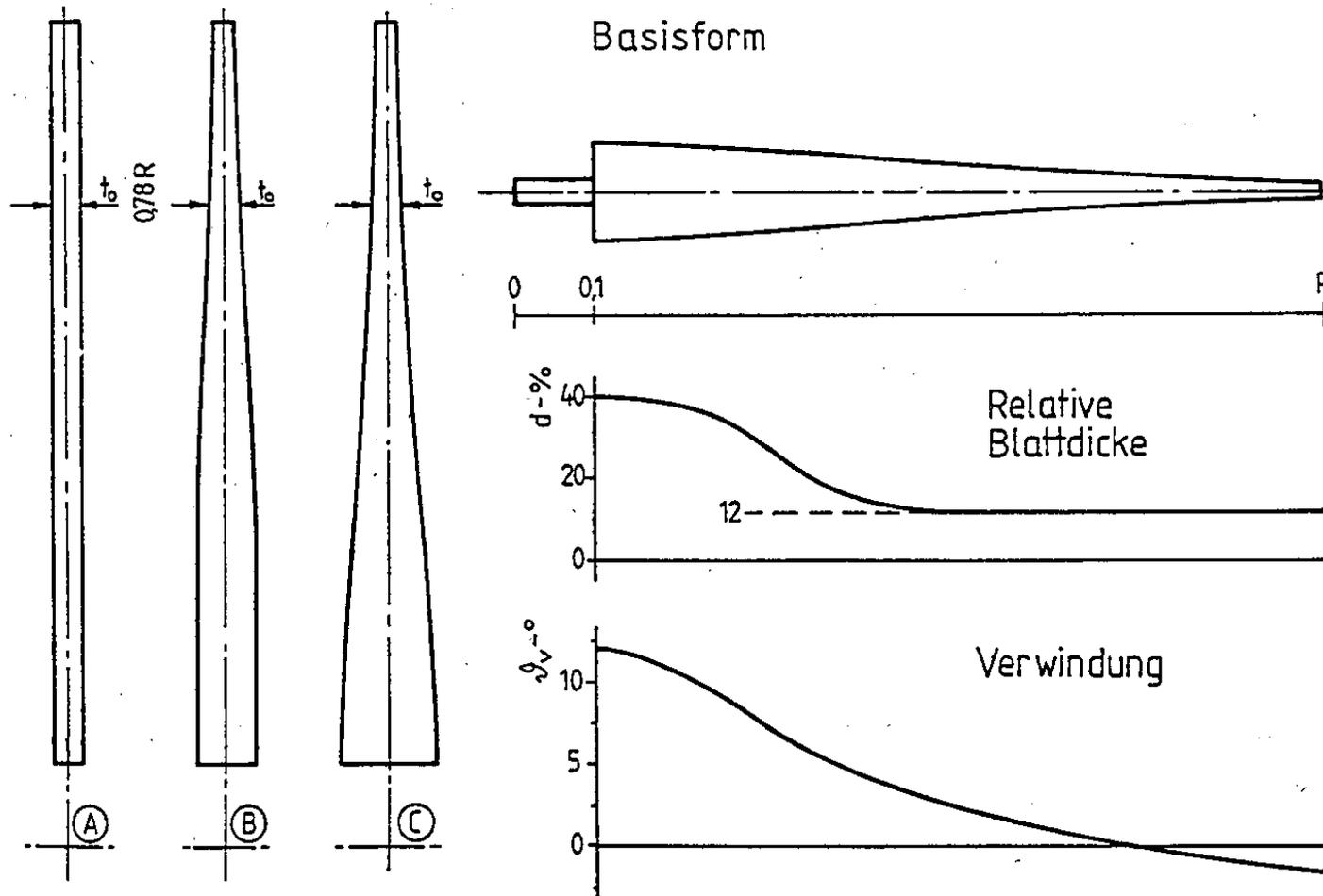
Blattformen/zahl

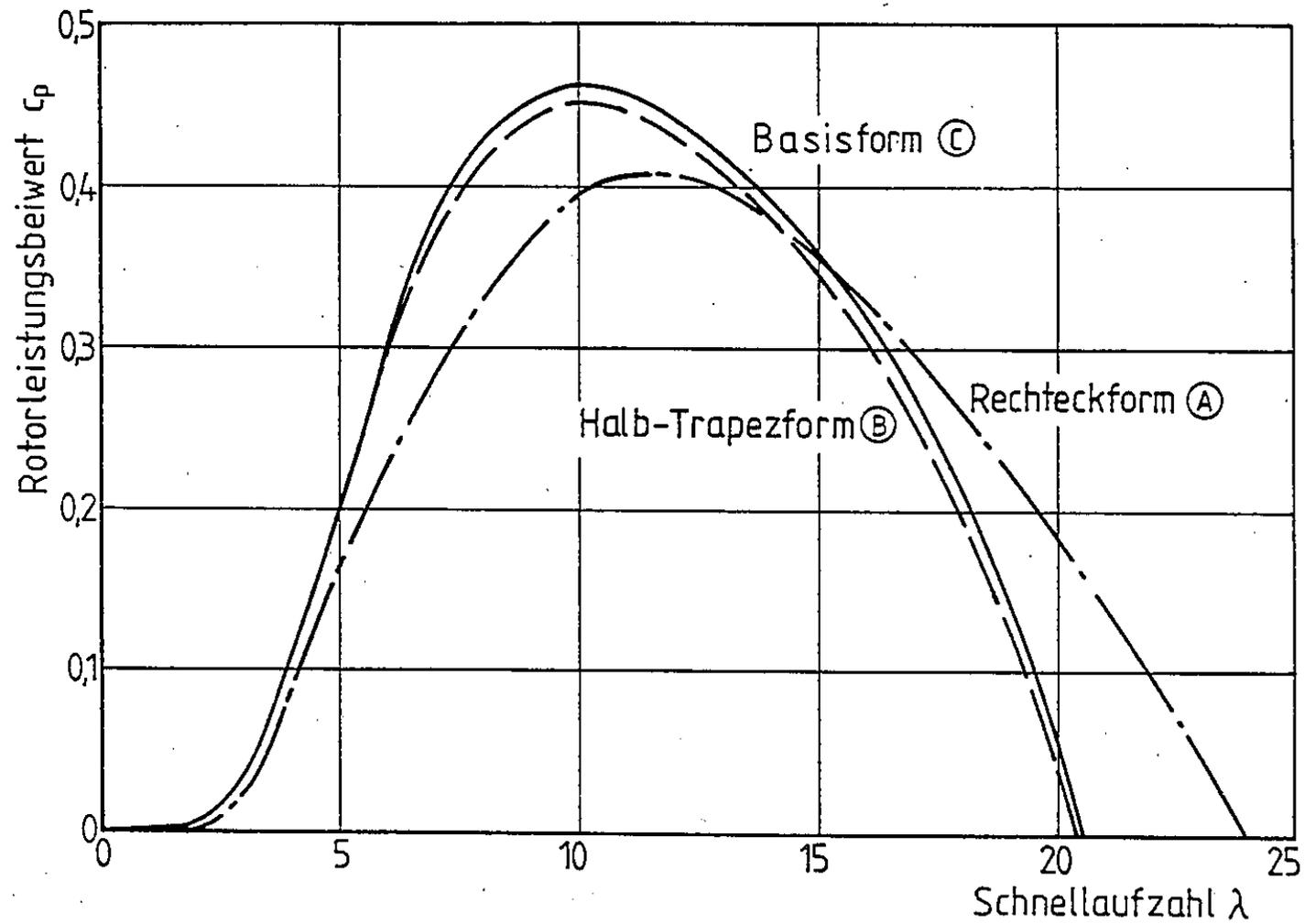




Aerodynamische Zusammenhänge

Blattformen II



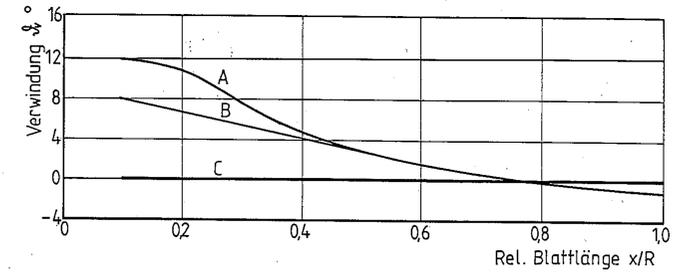
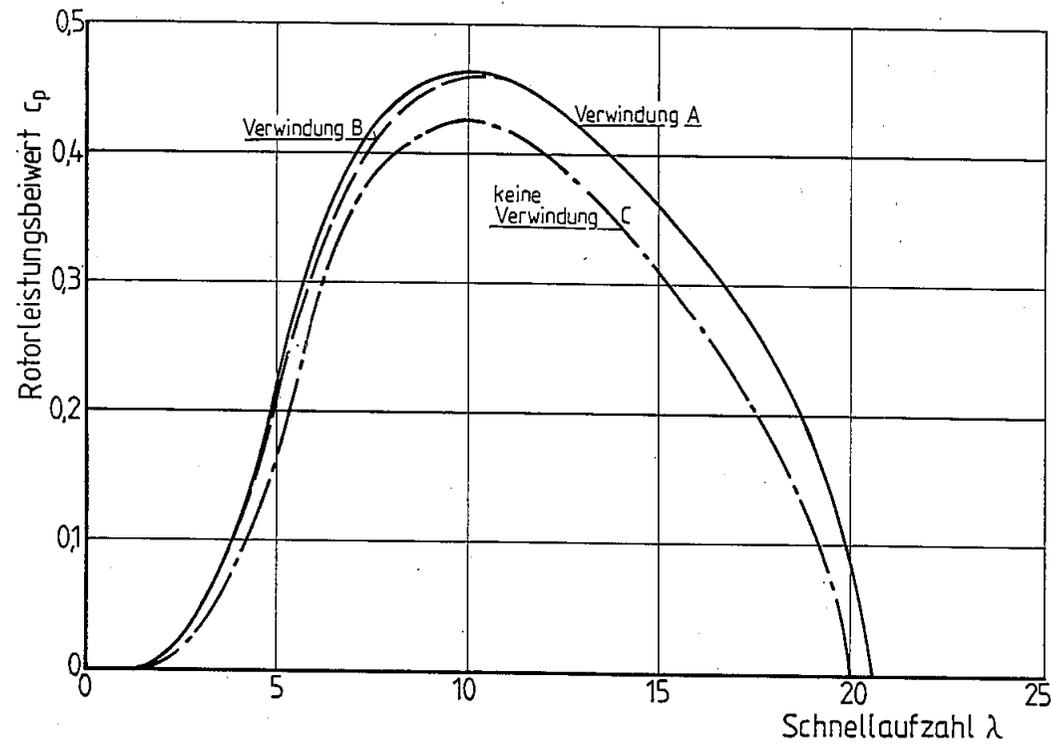




EIFER

Aerodynamische Zusammenhänge

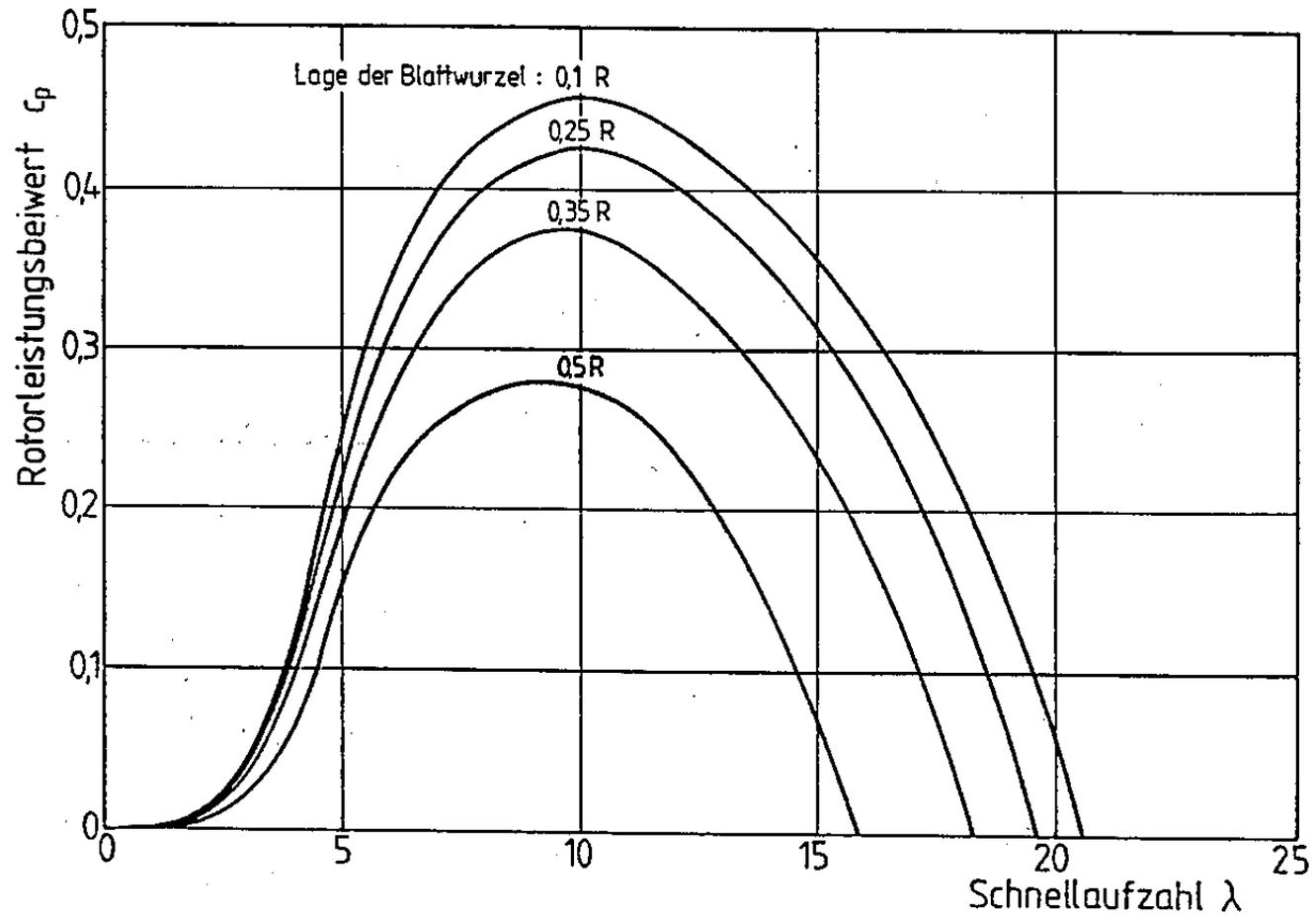
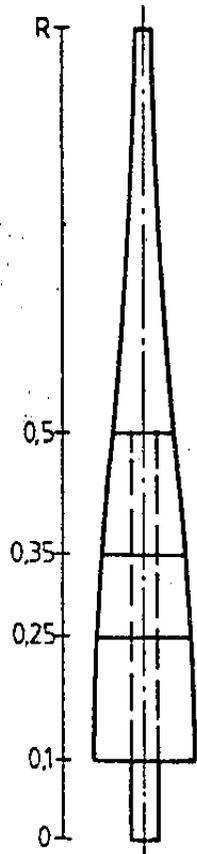
Verwindung





Aerodynamische Zusammenhänge

Blattwurzel





EIFER

Aerodynamische Zusammenhänge

Blattspitzen



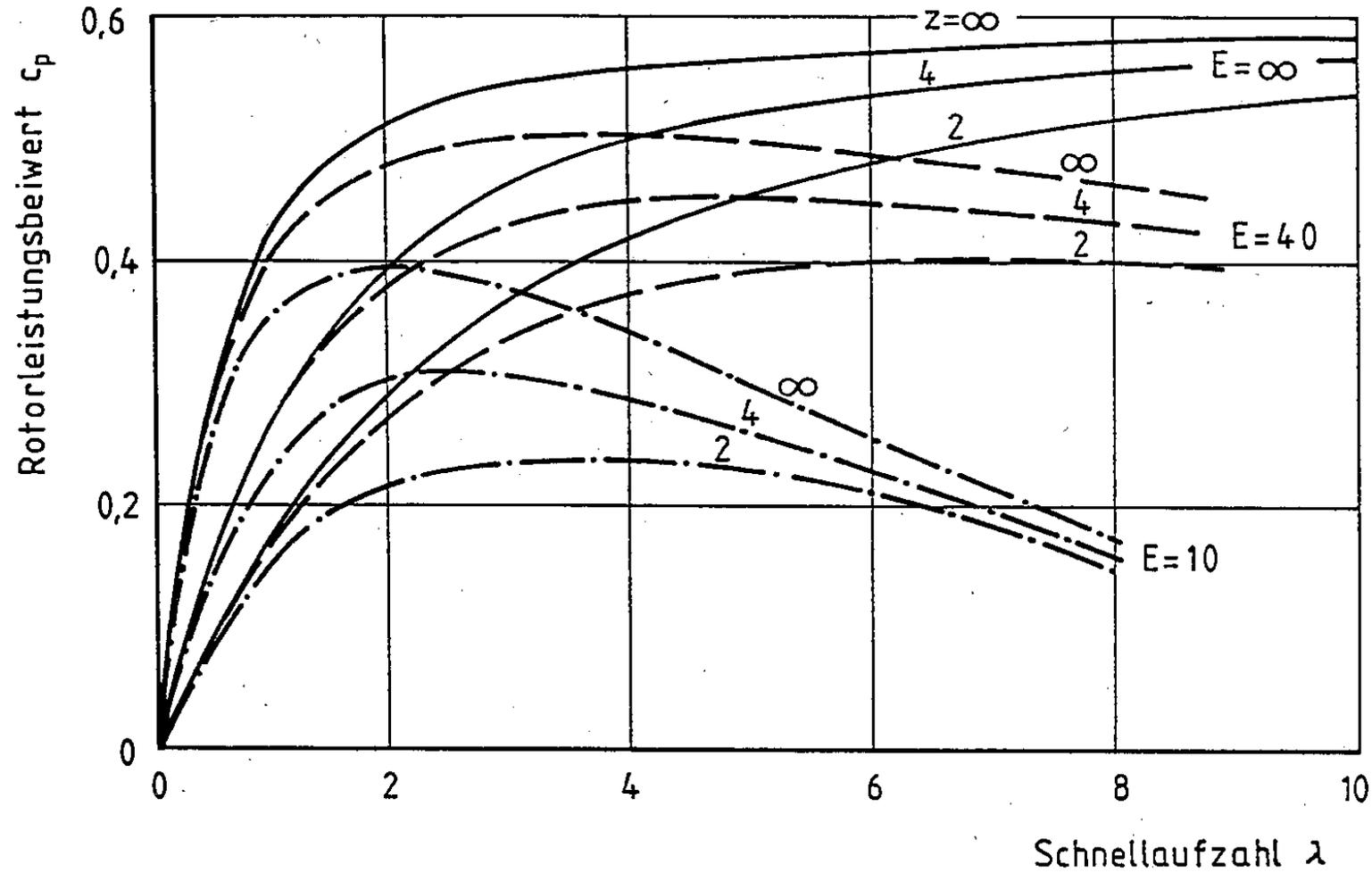
Standard

gerade Hinterkante

Shark

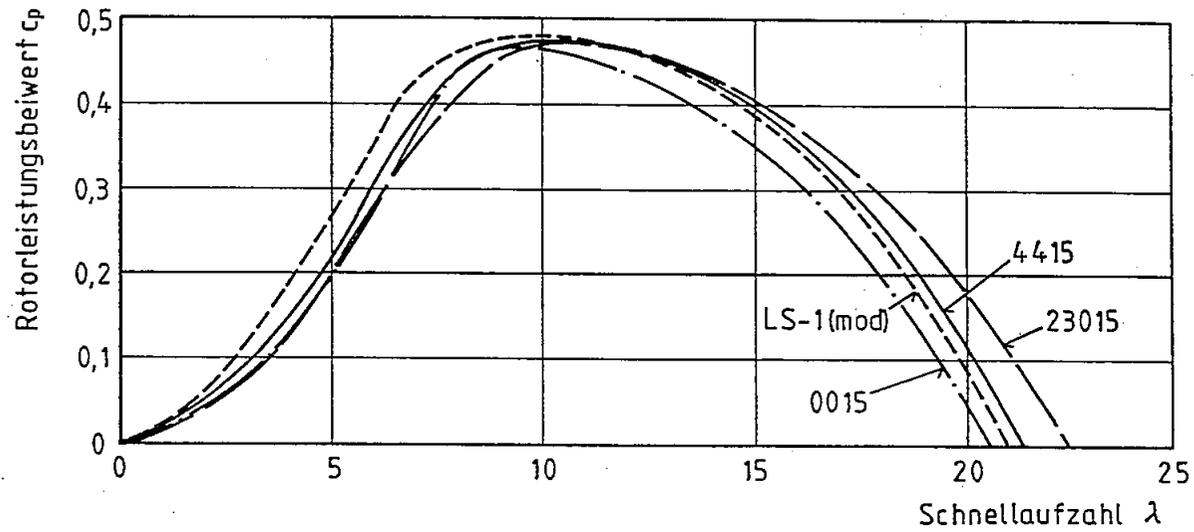
Ogee

Endscheibe

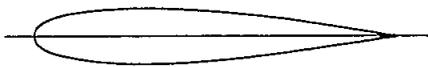


Aerodynamische Zusammenhänge

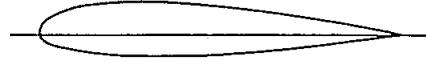
Profilarten



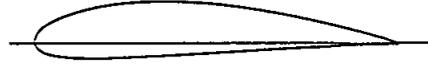
NACA 0015



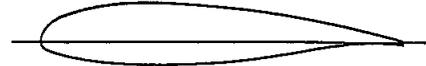
NACA 23015



NACA 4415

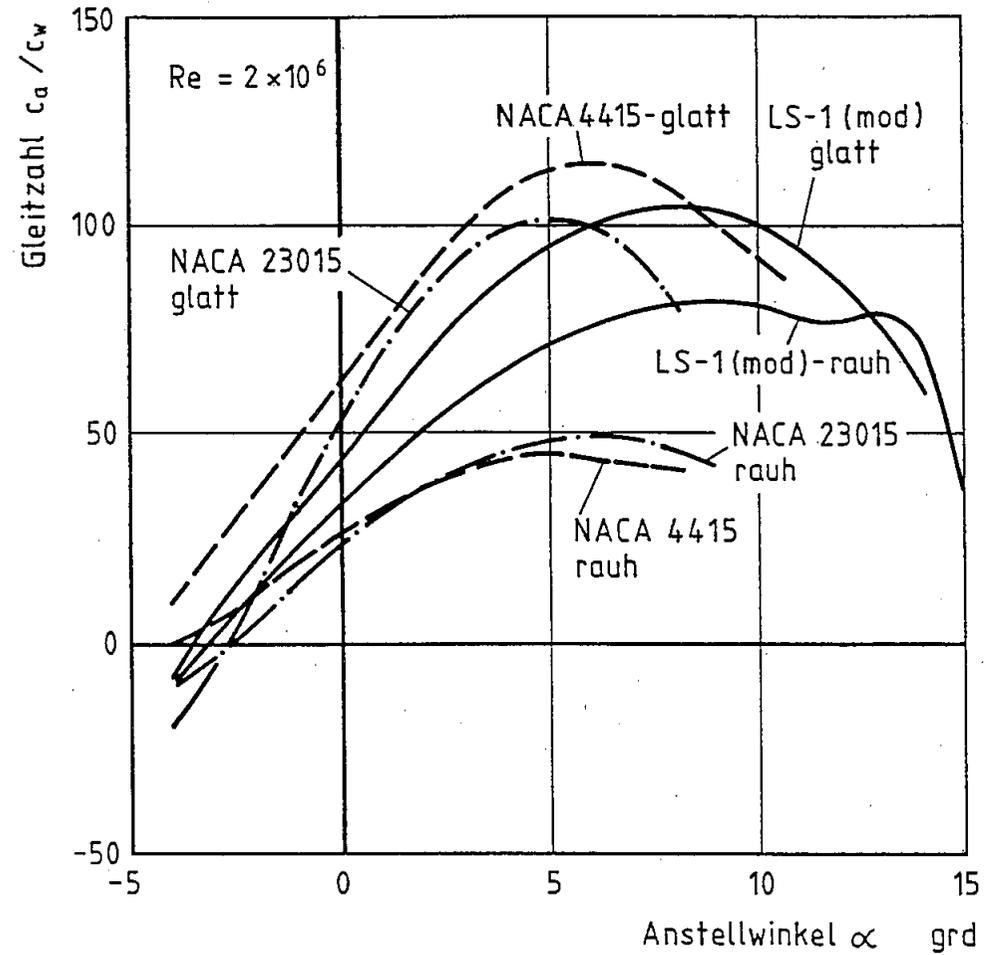


LS-1 (mod.)



Aerodynamische Zusammenhänge

Oberflächengüte

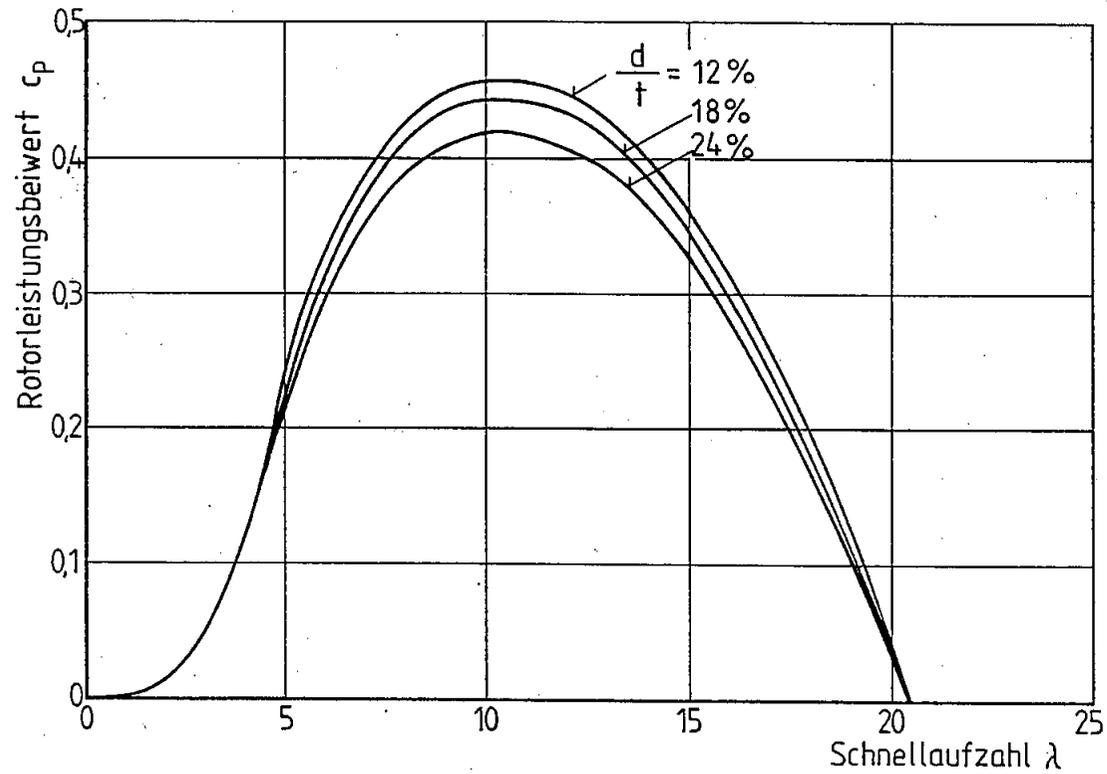




EIFER

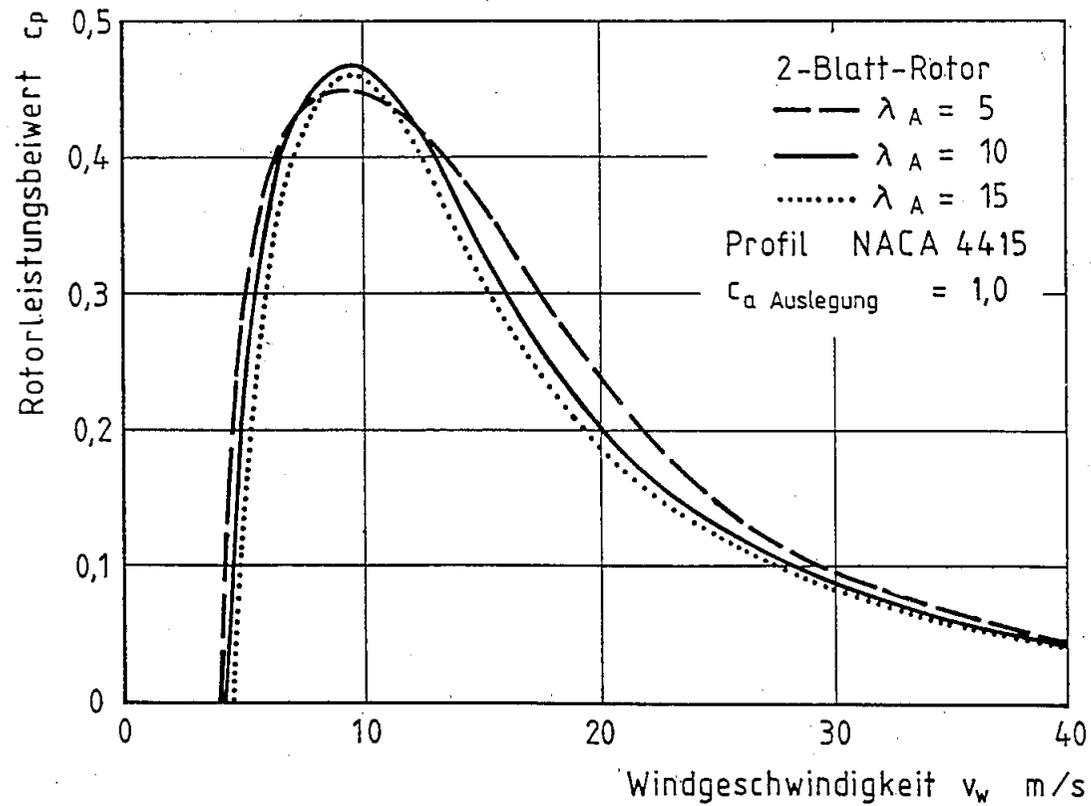
Aerodynamische Zusammenhänge

Profildicke





Aerodynamische Zusammenhänge λ/v





EIFER

Aerodynamische Zusammenhänge

$$\lambda/\lambda_a$$

