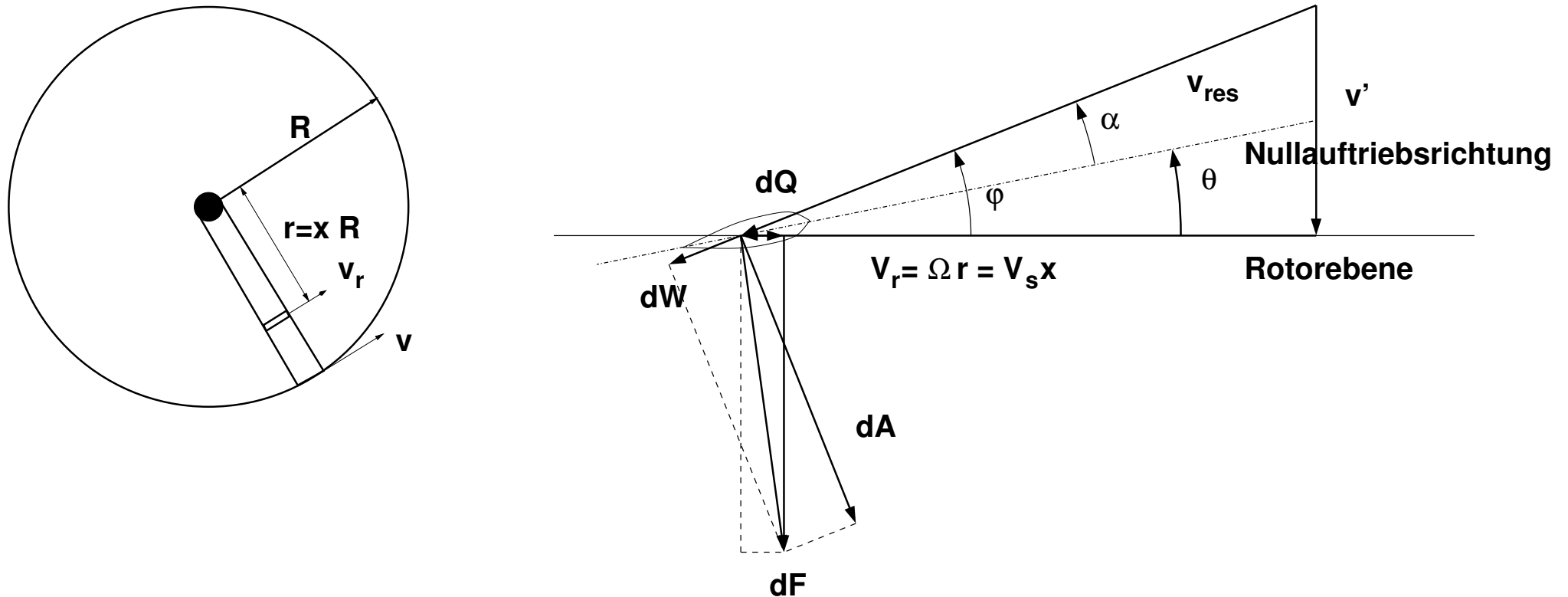


# Blattelementtheorie



Kräfte und Geschwindigkeiten am Blattelement

# Blattelementtheorie

---

## Bezeichnungen

$r$	Abstand von der Rotorachse
$\theta$	Winkel zwischen der Rotorebene und der Nullauftriebsrichtung
$\varphi$	Winkel zw. der Rotorebene und der res. Anströmgeschw.
$l$	Blatttiefe
$V_r = \Omega \cdot r$	Umfangsgeschw. am Element
$V_S = \Omega \cdot R$	Umfangsgeschw. an der Blattspitze
$V_1$	Windgeschwindigkeit

# Blattelementtheorie

---

- Für große Schnelllaufzahlen ist der Winkel  $\varphi$  der resultierenden Geschwindigkeit relativ zur Rotorebene  $\varphi = \frac{V'}{\Omega \cdot r}$  und die Anströmgeschwindigkeit des Rotors ist  $V_{res} = \Omega \cdot r$ . Der effektive Anstellwinkel  $\alpha_e$  des Rotorprofils ergibt sich aus der Differenz zwischen  $\varphi$  und dem Blatteinstellwinkel  $\theta$ .

Wie groß ist die Schubkraft von  $k$  Rotorblättern auf ein Blattelement der Tiefe  $l$  und der spannweiten Ausdehnung  $dr$ ? Nehmen Sie an, dass sich der Auftriebsbeiwert linear mit dem effektiven Anstellwinkel ändert.

- Wie groß ist die Schubkraft auf ein ringförmiges Element der spannweiten Ausdehnung  $dr$  unter Anwendung der Strahltheorie?

# Blattelementtheorie

---

effektiver Anströmwinkel

$$\alpha_e = \varphi - \theta \quad (1)$$

resultierende Anströmgeschwindigkeit  $V_{res}$

$$V_{res} = \sqrt{(\Omega \cdot r)^2 + V'^2} \quad (2)$$

Winkel der resultierenden Geschwindigkeit relativ zur Drehebene des Rotors

$$\varphi \approx \tan \varphi = \frac{V'}{\Omega \cdot r} \quad (3)$$

Kräfte am Element:

$$\begin{aligned} \text{Auftrieb:} \quad dA &= \frac{\rho}{2} V_{res}^2 \cdot c_a \cdot l \cdot dr \\ \text{Widerstand:} \quad dW_p &= \frac{\rho}{2} V_{res}^2 \cdot c_w \cdot l \cdot dr \\ \text{mit } c_a(\alpha_e); \quad c_w(\alpha_e) \end{aligned} \quad (4)$$

# Blattelementtheorie

---

Zerlegung der Kräfte senkrecht und parallel zur Rotorebene

$$\begin{aligned} \text{Schub: } dF &= dA \cdot \cos \varphi + dW_p \cdot \sin \varphi \\ \text{Querkraft: } dQ &= dA \cdot \sin \varphi - dW_p \cdot \cos \varphi \end{aligned} \quad (5)$$

Für kleine  $\varphi$  (große Schnelllaufzahl)

$$V_{res} = \Omega \cdot r = V_s \cdot x \quad (6)$$

$$dF = dA \quad (7)$$

$$dQ = \varphi \cdot dA - dW_p \quad (8)$$

Mit  $c_a = c'_a \cdot \alpha_e = c'_a \cdot (\varphi - \theta)$

Man erhält bei  $k$  Rotorblättern:

$$dF = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (\Omega \cdot r)^2 \cdot c'_a \cdot (\varphi - \theta) \cdot k \cdot l \cdot dr \quad (9)$$

# Blattelementtheorie

---

ringförmiges Element:  $dS_R = 2\pi \cdot r \cdot dr$

aus der Strahltheorie

$$dF = \rho V' \cdot (V_1 - V_2) dS_R \quad (10)$$

$$V' = \varphi \cdot \Omega \cdot r = \frac{1}{2}(V_1 + V_2) \quad (11)$$

$$\frac{1}{2} \cdot (V_1 - V_2) = V' - V_2 = V_1 - V' = V_1 - \varphi \cdot \Omega \cdot r \quad (12)$$

$$dF = 4\pi\rho \cdot \varphi \cdot \Omega \cdot r(V_1 - \varphi \cdot \Omega \cdot r)r \cdot dr \quad (13)$$