



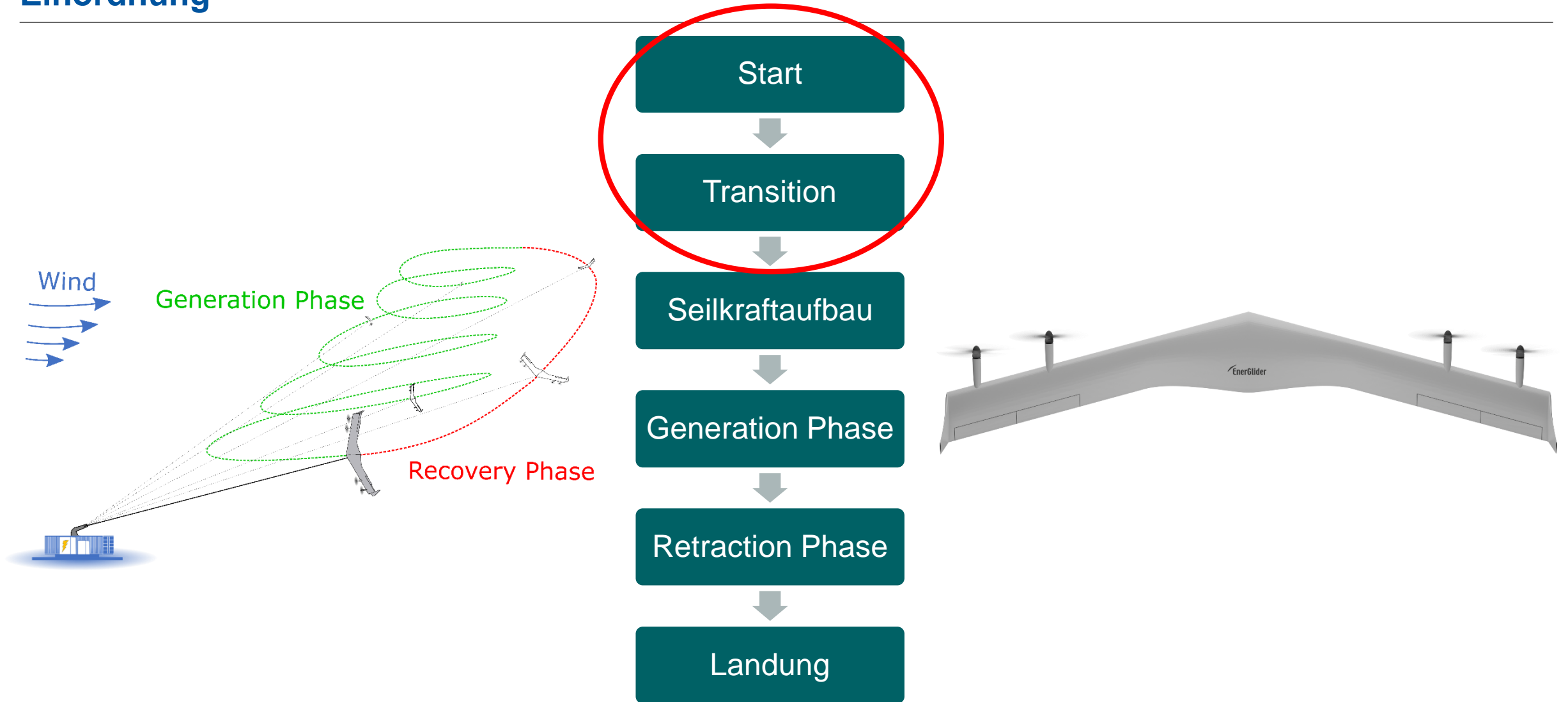
Flugbahnplanung der Startphase eines Nurflüglers als Flugwindkraftwerk

Hendrik Fuest

23.05.2023

DGLR Workshop „Missionsführung, Bahnführung und Bahnplanung für innovative Luftfahrtanwendungen“

Einordnung

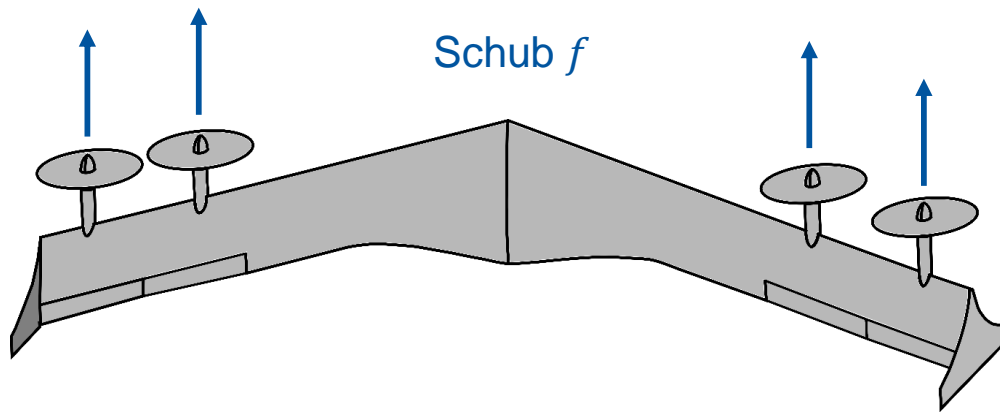


Startphase

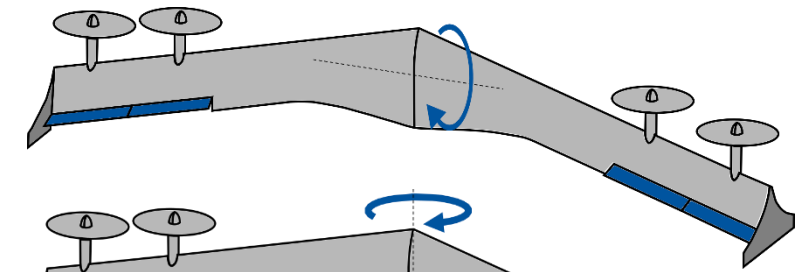
- Herausforderungen der Startphase:
 - schnellstmöglicher Übergang in „Generation Phase“ erforderlich
 - minimaler Schubbedarf
 - Robustheit speziell bei starkem Wind
- unterschiedliche Startkonzepte verschiedener Unternehmen
 - Makani, Ampyx, EnerKite, SkySails, Kitemill
 - Softkite / Hardkite
 - Ground-Gen / Fly-Gen

Flugsystem

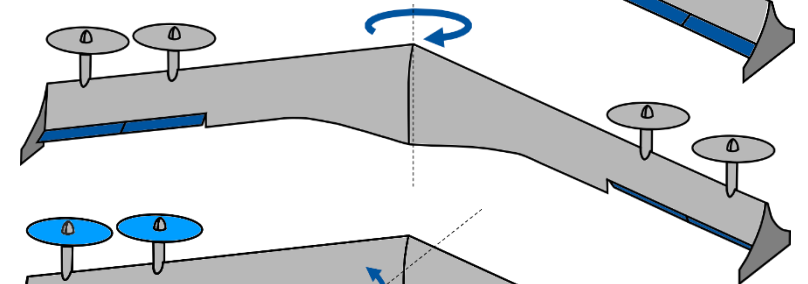
- Nurflügler mit jeweils vier Antriebseinheiten und Klappen
- Eigenflugfähigkeit ohne Seilbindung soll gewährleistet sein
- Reduzierung auf wesentliche Auftriebskomponenten für hohe Leistungsausbeute
- Herausforderung der Nick-Stabilisierung in der Startphase



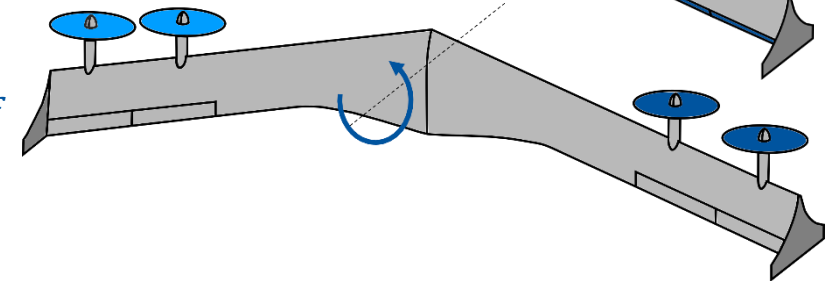
„Höhenruder“ κ



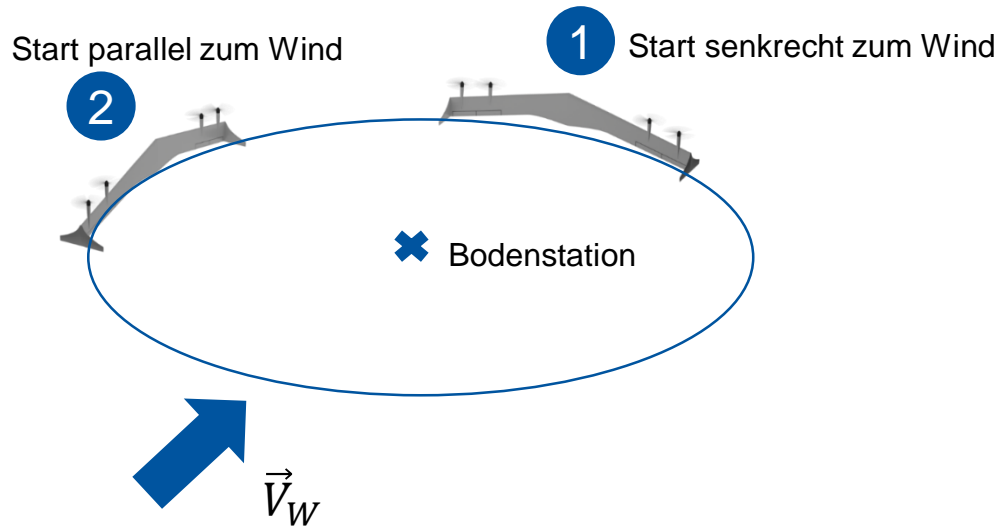
„Querruder“ $\Delta\kappa$



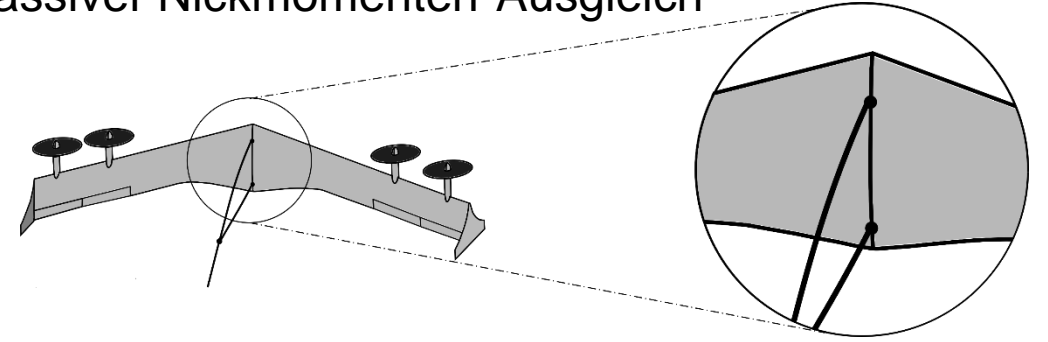
Differenzieller Schub Δf



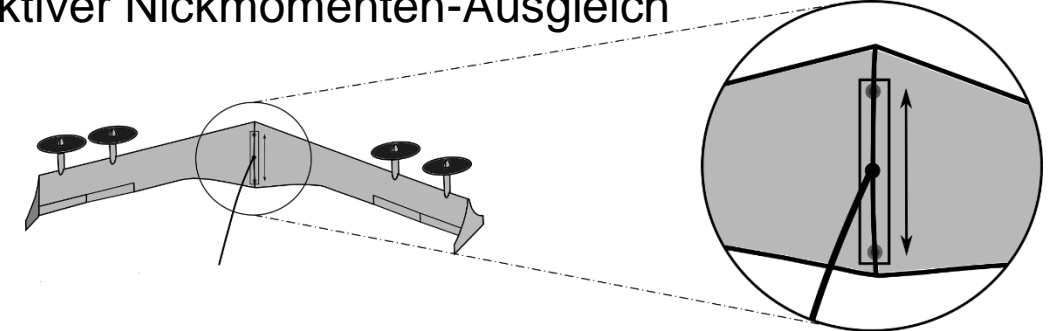
Startoptionen



- 1 Dreiecks-Seilverbindung
➤ passiver Nickmomenten-Ausgleich



- Verschiebbarer Seilangriffspunkt
➤ aktiver Nickmomenten-Ausgleich



- 2
 - Start mit Ausrichtung zum Windvektor
 - Transition in den Flächenflug und Einflug in die Powerzone

Trimpunkt Berechnung

- Untersuchung der stationären Trimpunkte zur Bewertung der Start- und Transitionsphase

- Bedingung:
 $\Sigma F, M = 0$

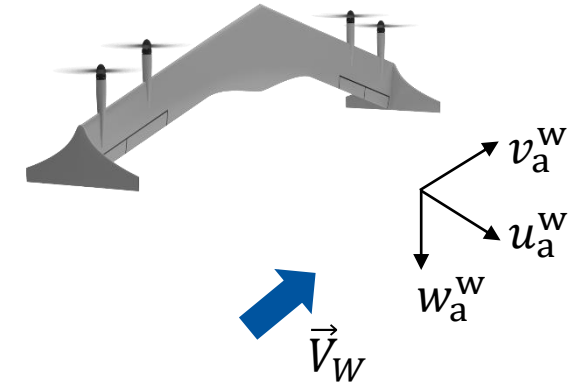
- Steuergrößen:

$$\begin{pmatrix} f \\ \Delta f \\ \kappa \\ \Delta \kappa \end{pmatrix}$$

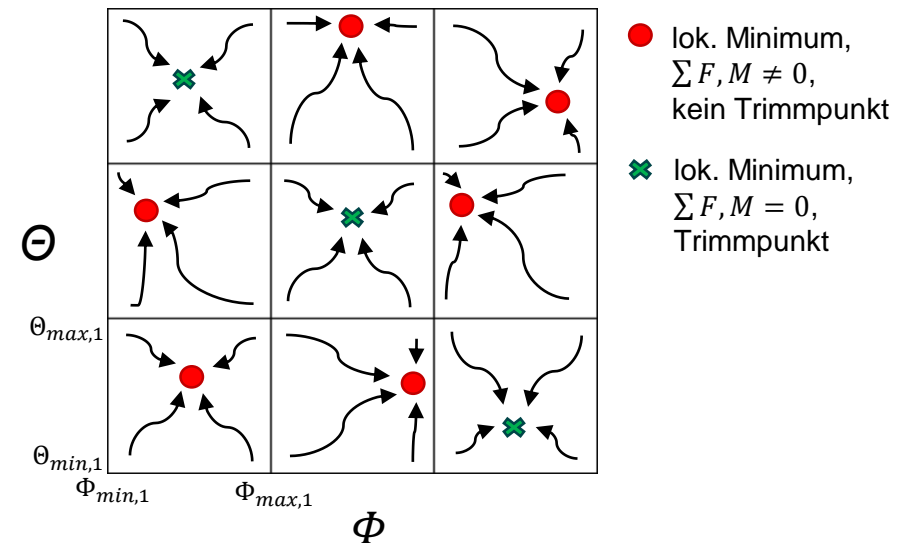
- Freiheitsgrade:

$$\begin{pmatrix} u_a^w \\ v_a^w \\ w_a^w \\ \Phi \\ \Theta \\ \Psi \end{pmatrix}$$

Suchlauf



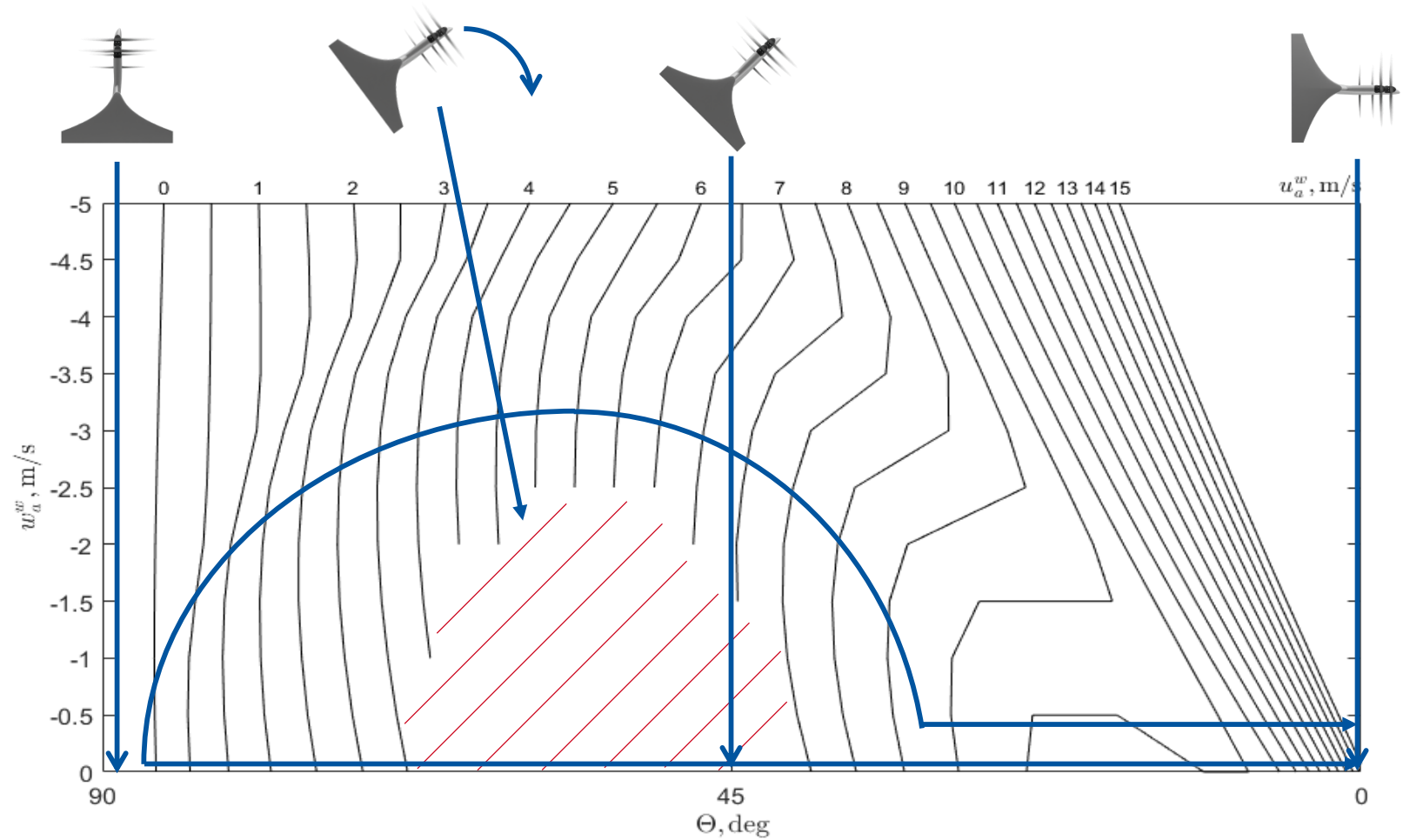
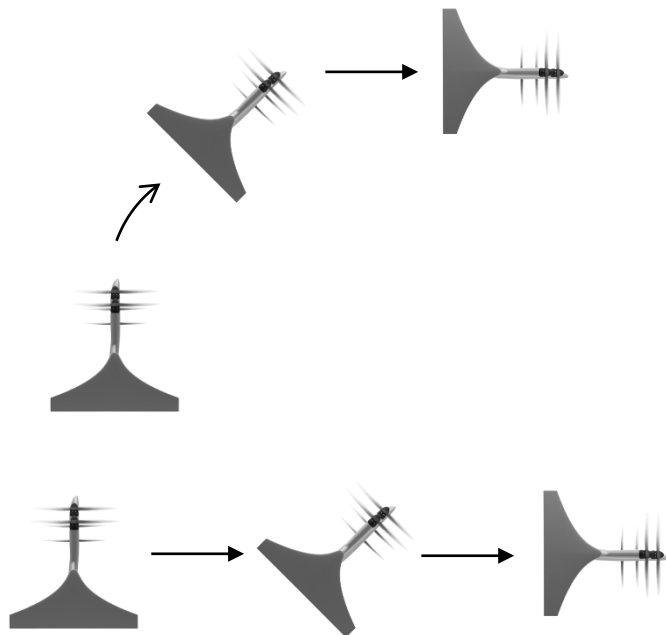
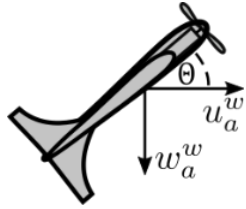
Gitter - Suchlauf



Transition

- Longitudinale Nicktransition:

$$\begin{pmatrix} f \\ \kappa \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} u_a^w \\ w_a^w \\ \Theta \end{pmatrix}$$



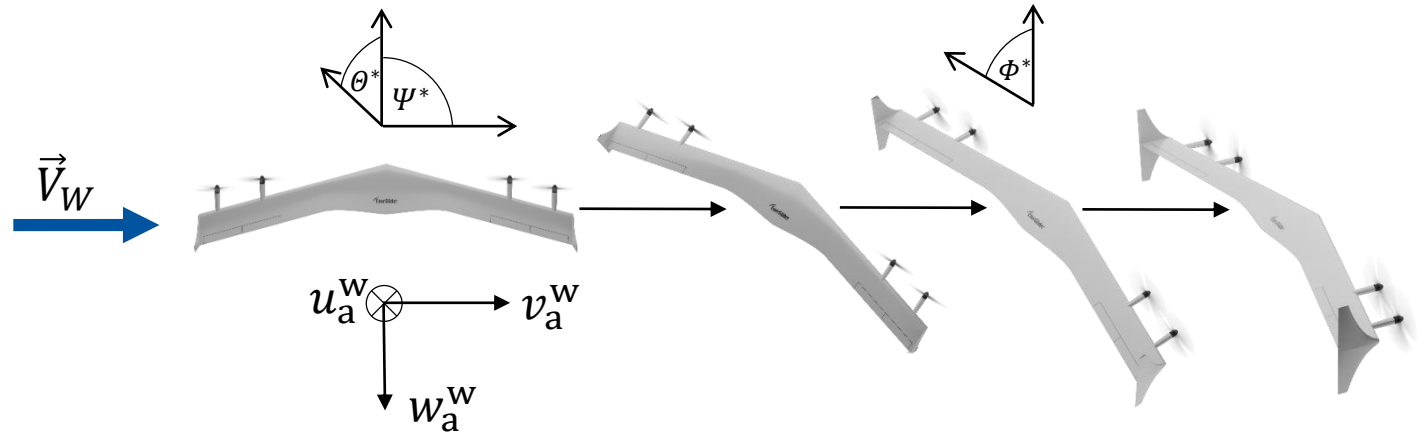
Transition

Laterale Gier-Roll Transition

- Vermeidung hoher Anstellwinkel
- Transition auf einer Höhe
- Kopplung aller Zustandsgrößen

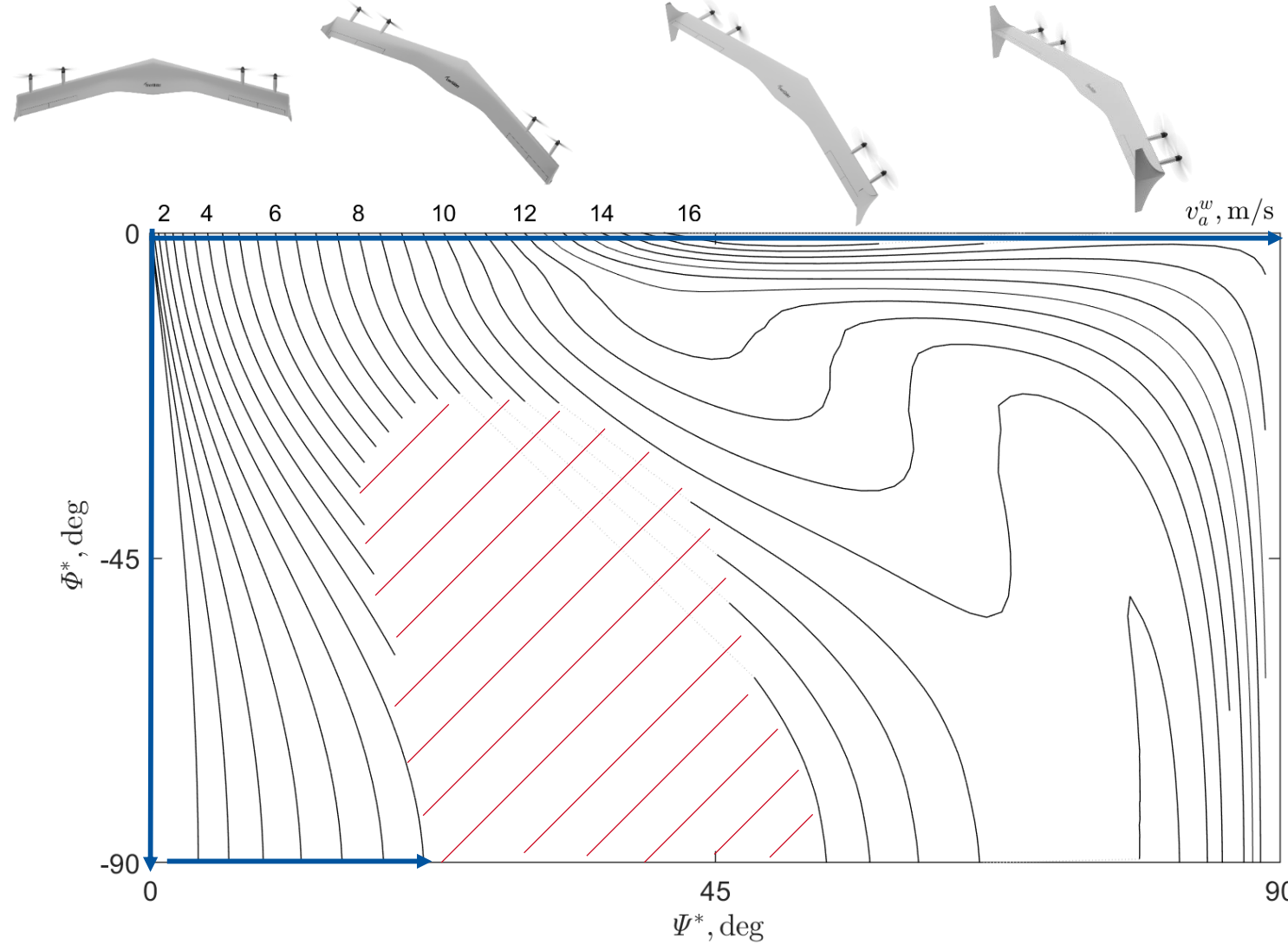
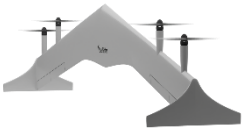
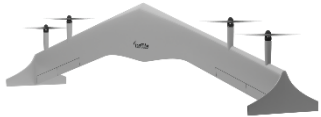
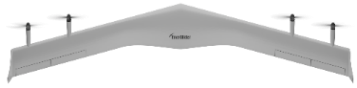
$$\begin{pmatrix} f \\ \Delta f \\ \kappa \\ \Delta \kappa \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} u_a^w \\ v_a^w \\ w_a^w \\ \Phi^* \\ \Theta^* \\ \Psi^* \end{pmatrix} \left. \begin{array}{l} \longrightarrow = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ \longrightarrow \in [0, 15] \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ \longrightarrow = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ \left. \begin{array}{l} \Phi^* \\ \Theta^* \\ \Psi^* \end{array} \right\} \text{Suchlauf} \end{array} \right\}$$

* Euler Drehfolge: YZX



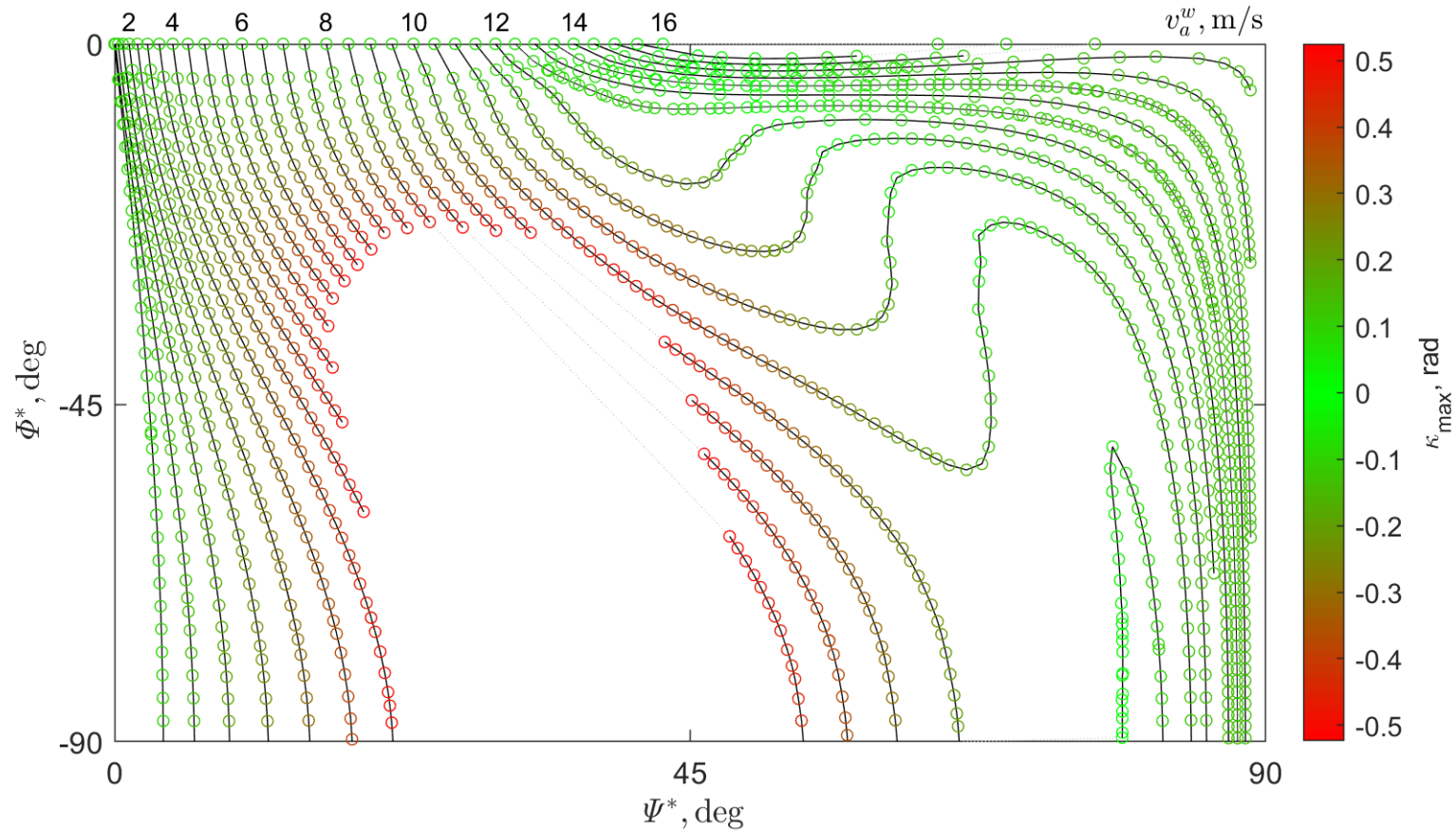
Transition

Laterale Gier-Roll Transition



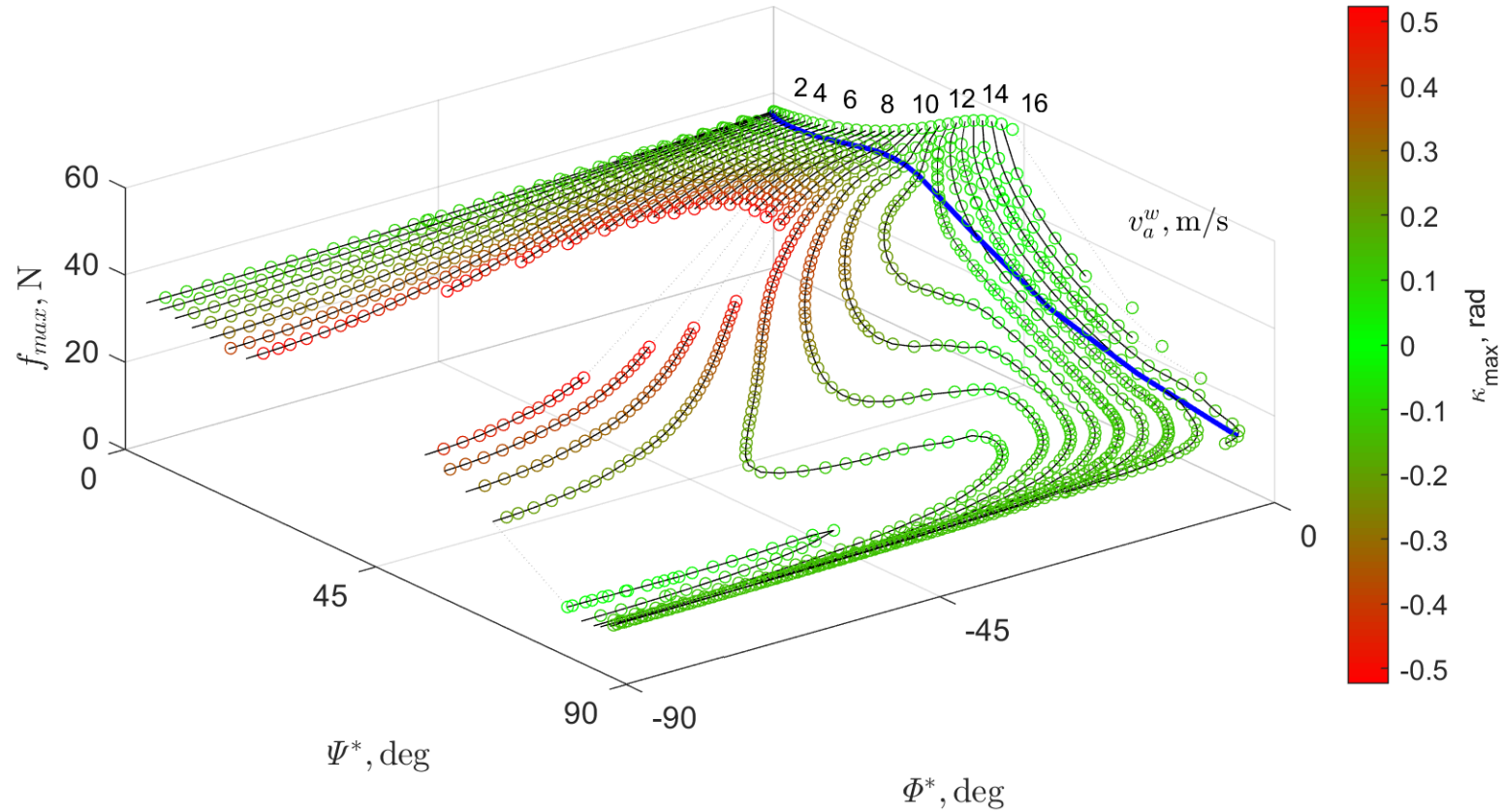
Transition

- Laterale Gier-Roll Transition



Transition

- Laterale Gier-Roll Transition

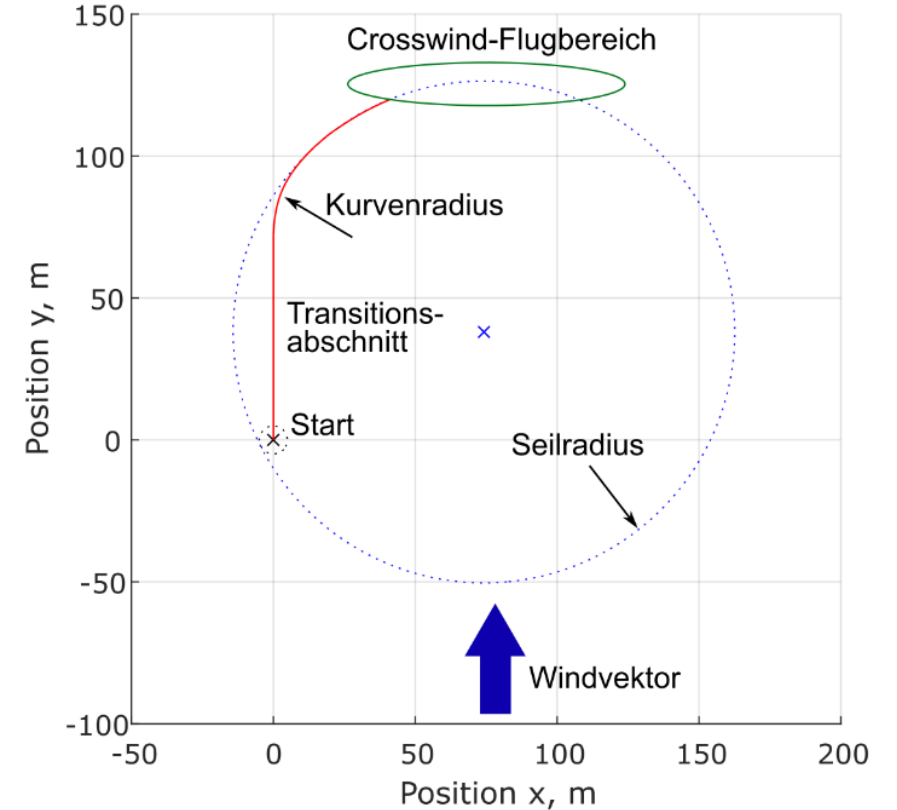


Suche:

- $\min(\kappa, f)$
- $\min(\delta\kappa, \delta f)$
- $\min(\delta\text{Euler})$
- $v_{a,cmd}^w \leftrightarrow \text{Euler}$

Ausblick

- Übergang in Kurvenflug und Aufbau Seilkraft
- Entwicklung einer Flugzustandsregelung für die Transition
- Verifizierung der Modelldaten im Flugtest





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

