



Deutsches Zentrum
DLR für Luft- und Raumfahrt

P R E S S E K O N F E R E N Z



Knowledge for Tomorrow

Wissen für Morgen

DLR.de

Zur Aerodynamik des Lilienthal-Gleiters

Prof. Dr. Andreas Dillmann

Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik

Göttingen



Wissen für Morgen



Beteiligte am Lilienthal-Projekt des DLR

- Prof. Rolf Henke: Idee und Finanzierung
- Lilienthal-Museum Anklam: Bau des Gleiters nach Originalplänen
- Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie: Analyse des Original-Bespannstoffs
- Historische Weberei Egelkraut: Rekonstruktion des Bespannstoffs
- Deutsch-Niederländische Windkanäle (DNW): Windkanal LLF
- DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik: Projektdurchführung

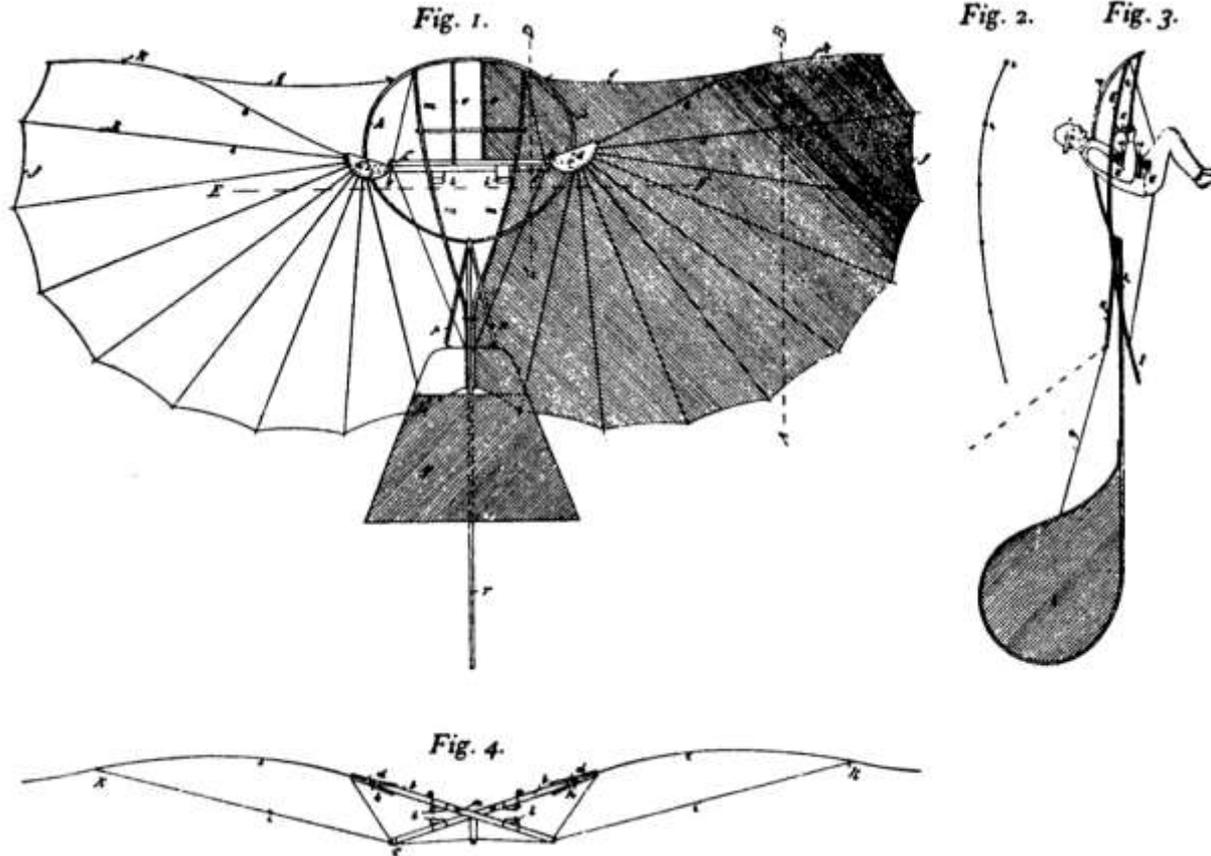


125 Jahre Lilienthal: Offene Fragen

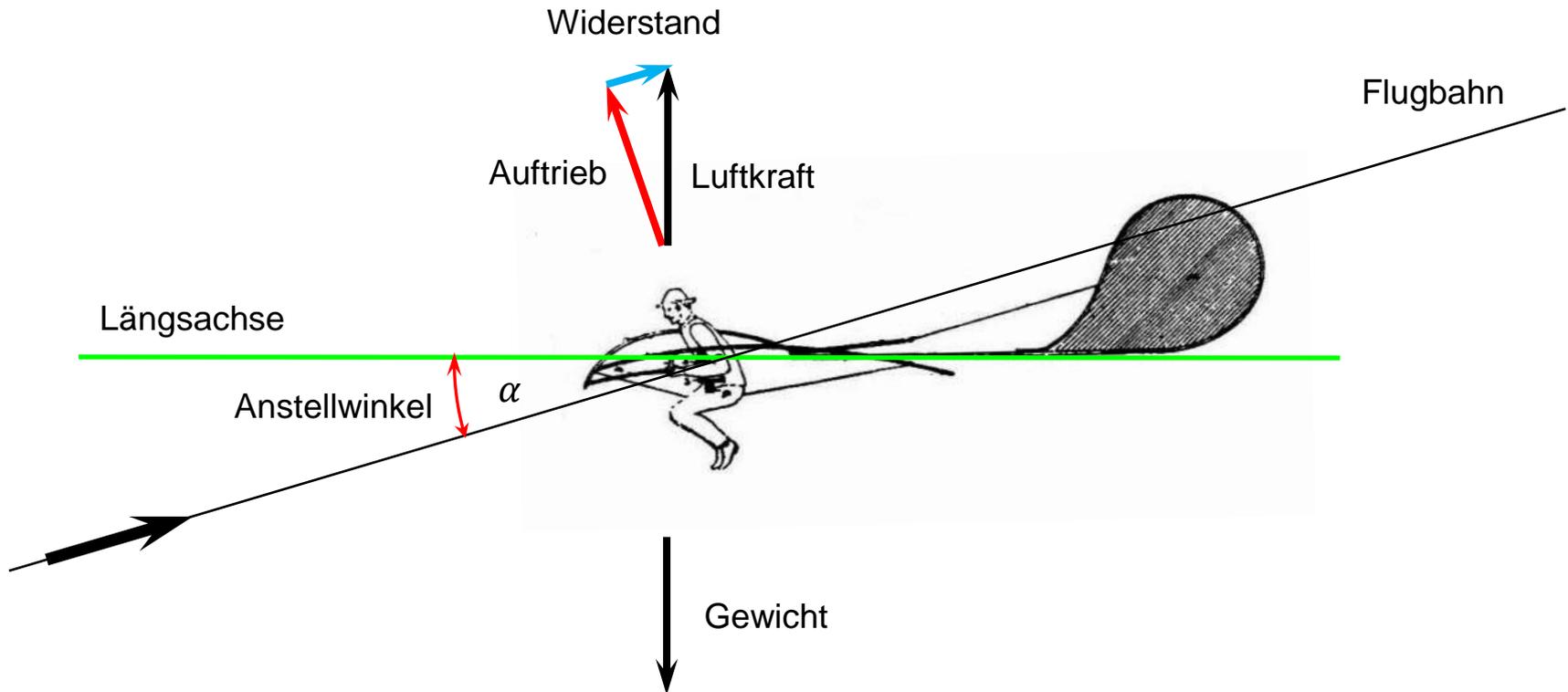
- Welches Wissen über Aerodynamik und Flugmechanik hatte Lilienthal ?
- Wie gut war die aerodynamische Qualität seines Gleiters (Polare) ?
- Wie weit konnte er damit fliegen (Gleitzahl) ?
- Wie schnell ist er geflogen ?
- War der Gleiter aerodynamisch stabil?
- Welche Flugeigenschaften hatte der Gleiter ?
- War er ein sicheres Fluggerät ?
- Was war die mögliche Absturzursache ?



Lilienthals Normal-Segelapparat



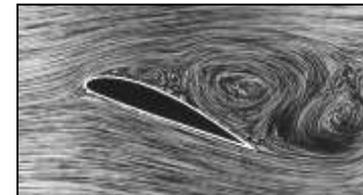
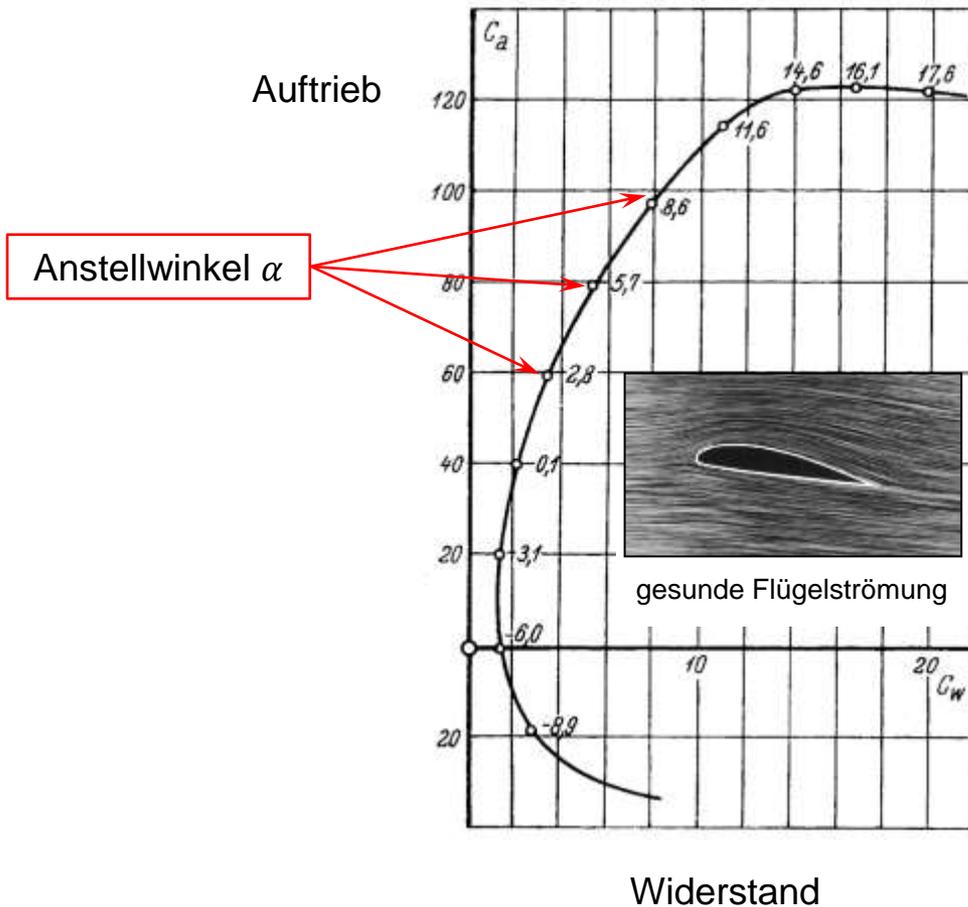
Lilienthal-Gleiter im aerodynamischen Gleichgewicht



Zerlegung der Luftkraft (= Gewicht) in Auftrieb und Widerstand !



Das Polardiagramm nach Lilienthal: die Lehrbuchform

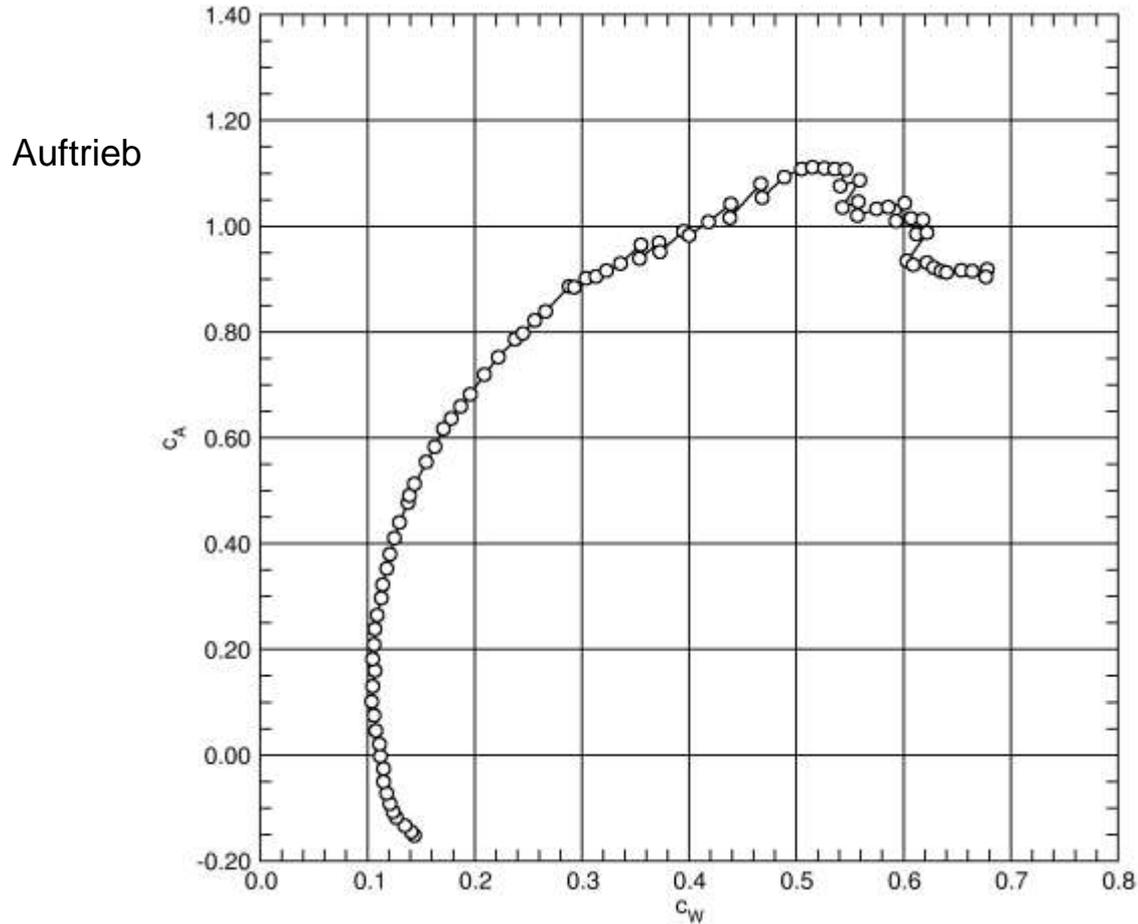


abgerissene Flügelströmung

Widerstand



Die Lilienthalpolare des Lilienthalgleiters

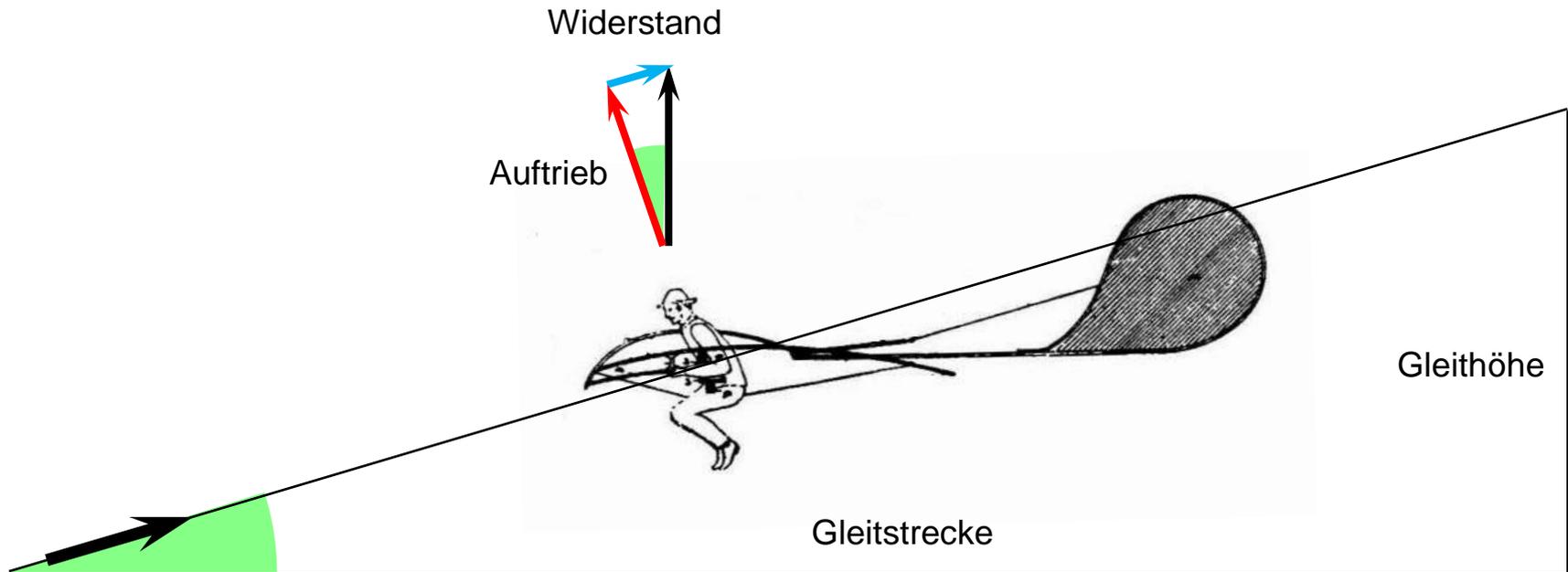


Widerstand

Messung: DLR / DNW



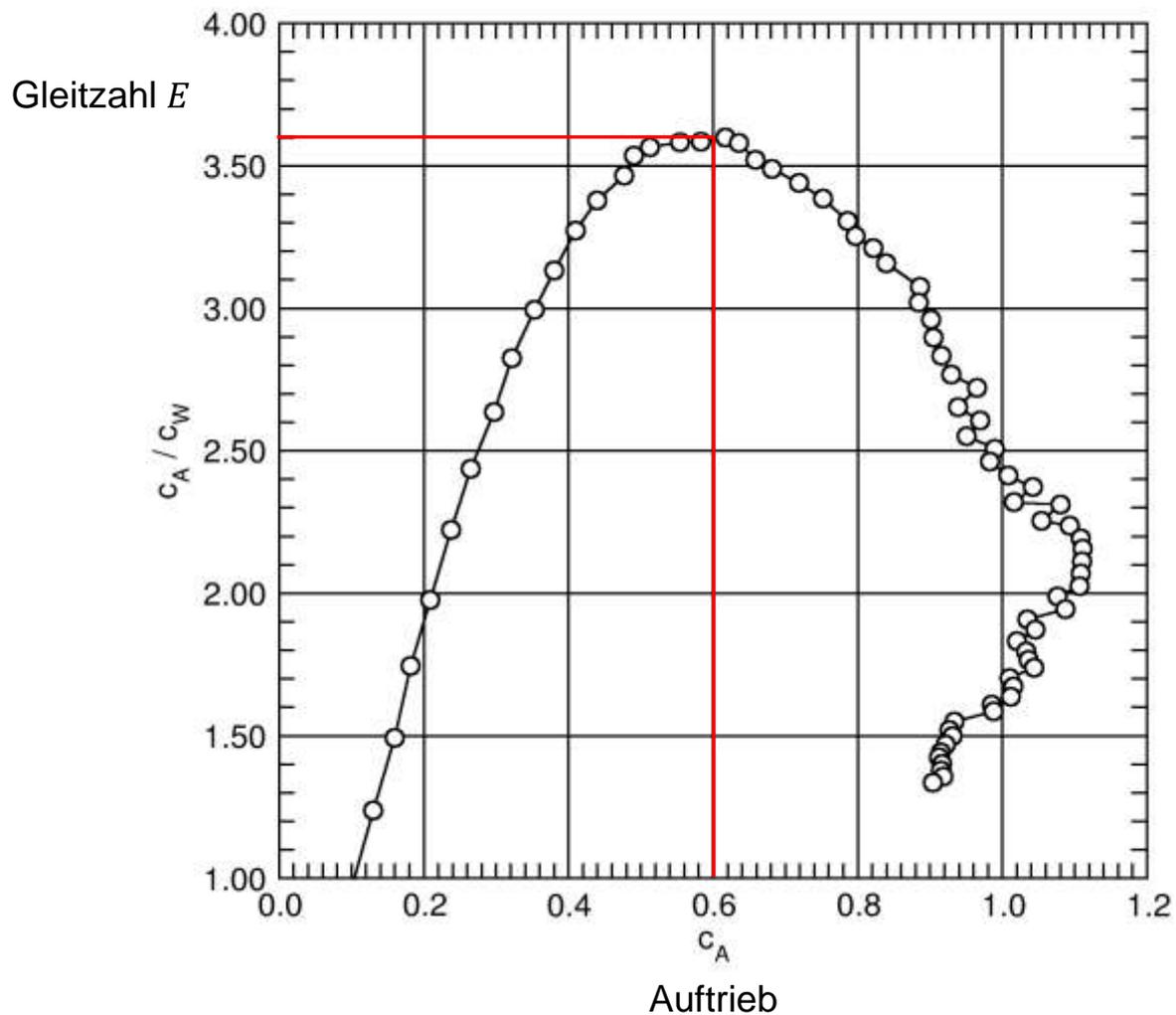
Die Gleitzahl des Lilienthal-Gleiters



$$\text{Gleitzahl } E = \frac{\text{Gleitstrecke}}{\text{Gleithöhe}} = \frac{\text{Auftrieb}}{\text{Widerstand}}$$



Die Gleitzahl des Lilienthal-Gleiters

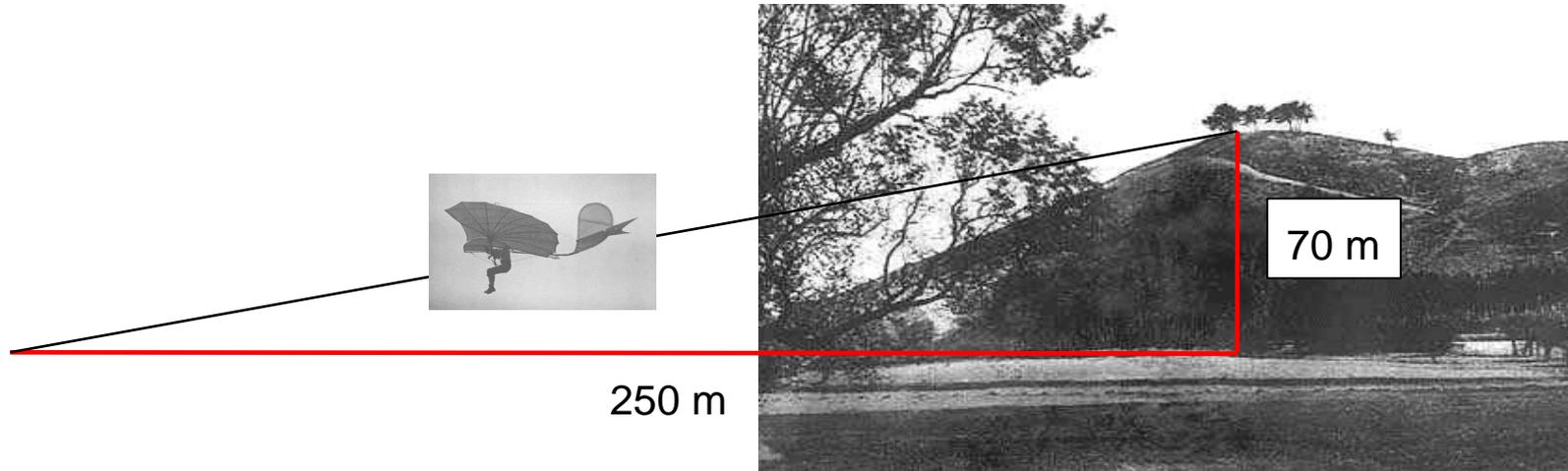


Bestes Gleiten:
 $E = 3.6$

Messung: DLR / DNW



Aus zeitgenössischen Berichten: 250 m Gleitstrecke beim Sprung vom Gollenberg in Stölln



Der Gollenberg zur Zeit Lilienthals

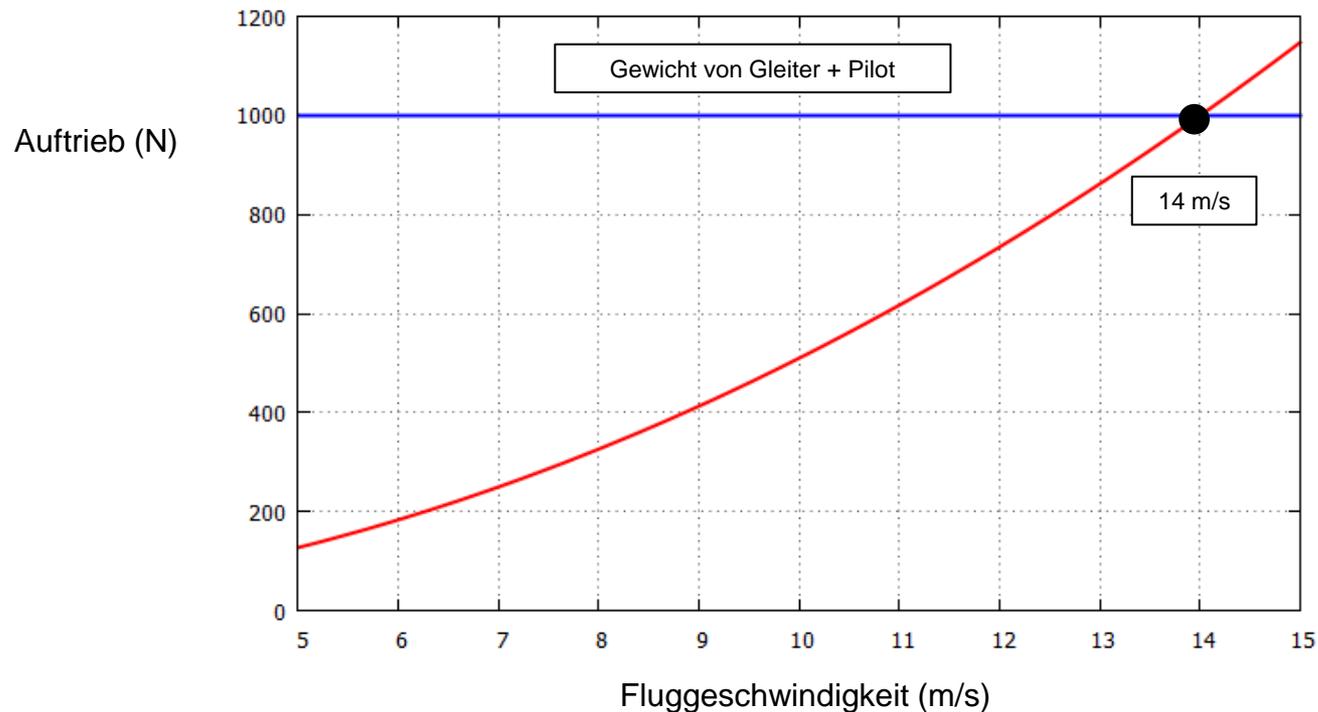
$$\text{Gleitzahl } E = \frac{250 \text{ m}}{70 \text{ m}} = 3.6$$

d.h. sehr gute Übereinstimmung mit den Windkanalmessungen !

Bildquelle: Prof. Dr. Wolfgang Nitsche, TU Berlin



Wie schnell flog Lilienthal im Punkt des besten Gleitens ?

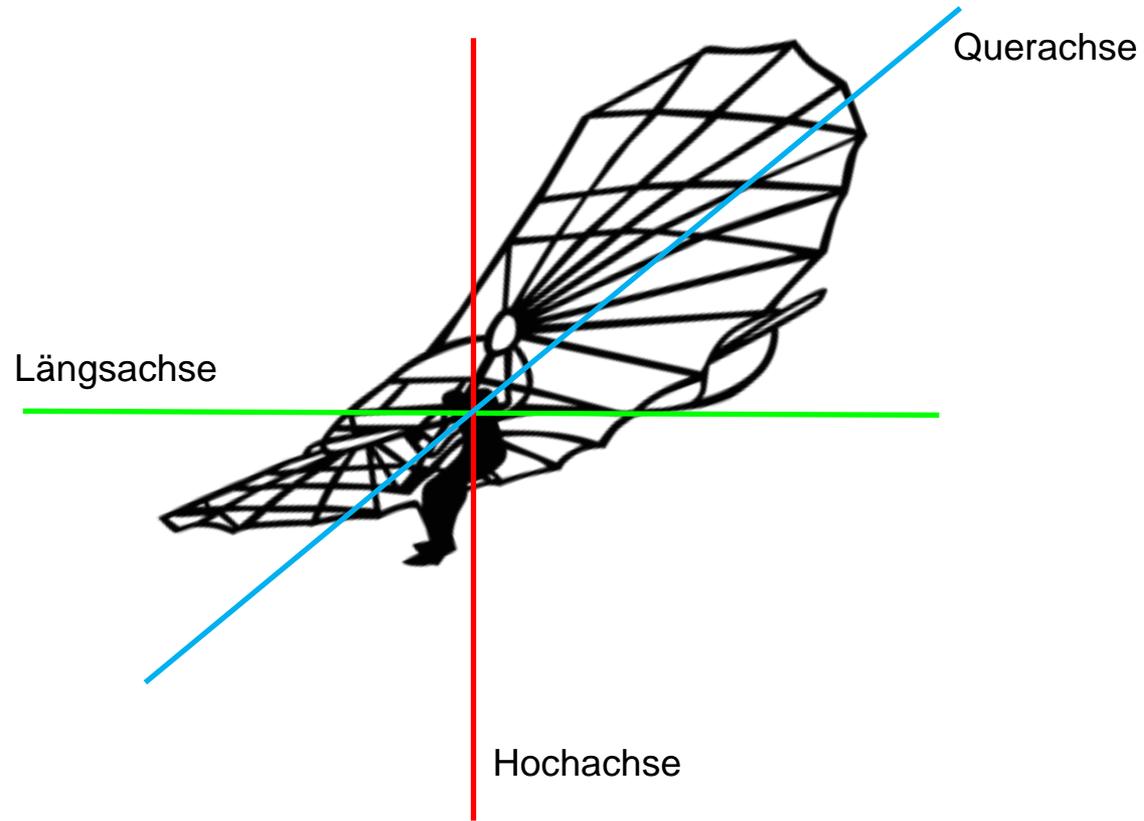


- Angabe O. Lilienthal: Stillstand des Gleiters über dem Boden bei Gegenwind von 10 m/s
- J. Anderson, "History of Aerodynamics" (1998) : "Lilienthals velocity measurements were too low by a factor of $\sqrt{2}$ (≈ 1.41). (Grund: Fehlerhafte Eichung des Selbstbau-Anemometers von Lilienthal)
- Daher: Angabe Lilienthals entspricht einer Windgeschwindigkeit von ca. 14 m/s (ca. 50 km/h) !



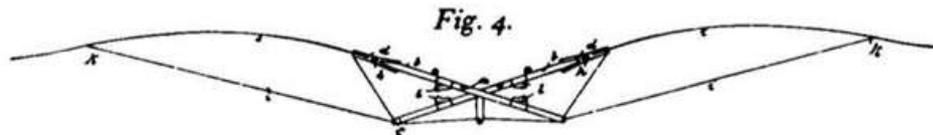
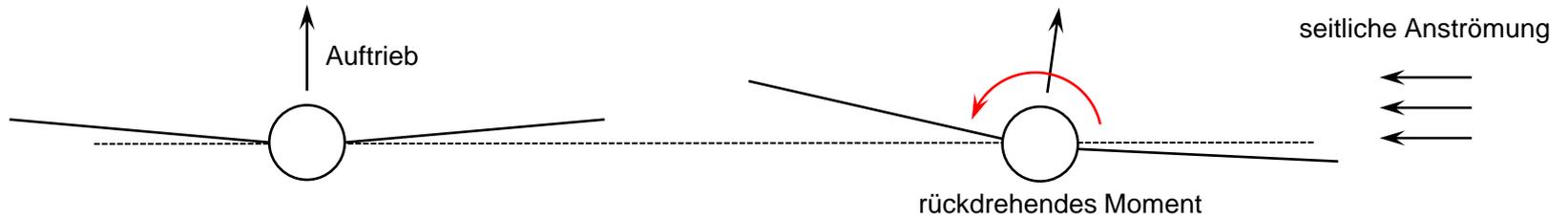
Die Stabilität des Lilienthal-Gleiters

Aerodynamische Stabilität: rückdrehendes Moment bei kleinen Drehbewegungen um Längs- Hoch- und Querachse



Stabilität um die Längsachse

Stabilisierung durch V-Stellung der Flügel (wie bei modernen Flugzeugen)



Stabilität um Hoch- und Querachse

Stabilisierung durch Windfahneneffekt von Seiten- und Höhenleitwerk (wie bei modernen Flugzeugen)

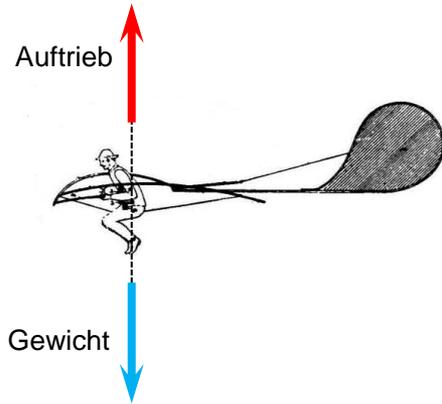


Für Flugfähigkeit besonders wichtig: Stabilität um die Querachse (Längsstabilität)

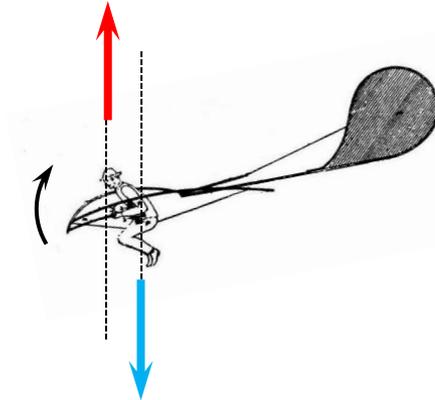


Die Längsstabilität des Lilienthalgleiters

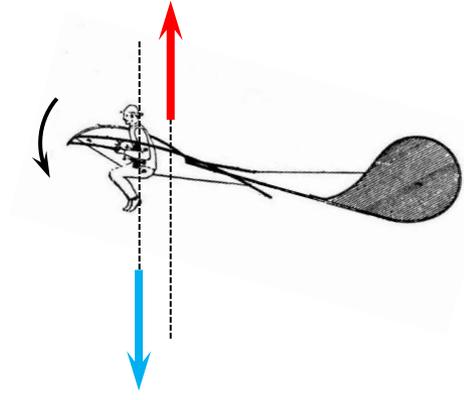
Längsstabiles Flugzeug: rückdrehendes Nickmoment bei kleinen Störungen der Gleichgewichtsfluglage



Gleichgewichtsfluglage,
kein Nickmoment

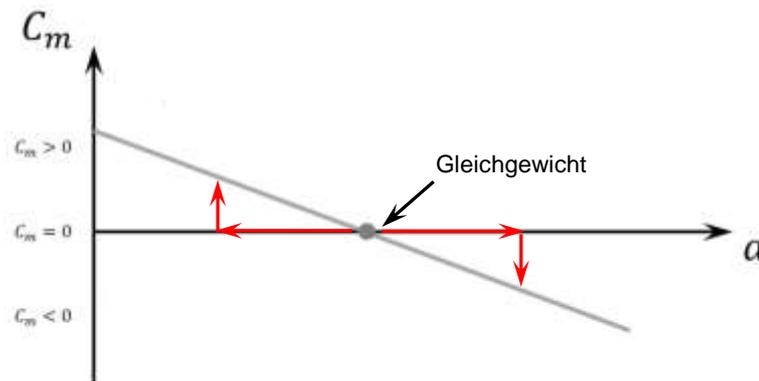


α nimmt ab, Nickmoment positiv,
Nase geht hoch



α nimmt zu, Nickmoment negativ,
Nase geht herunter

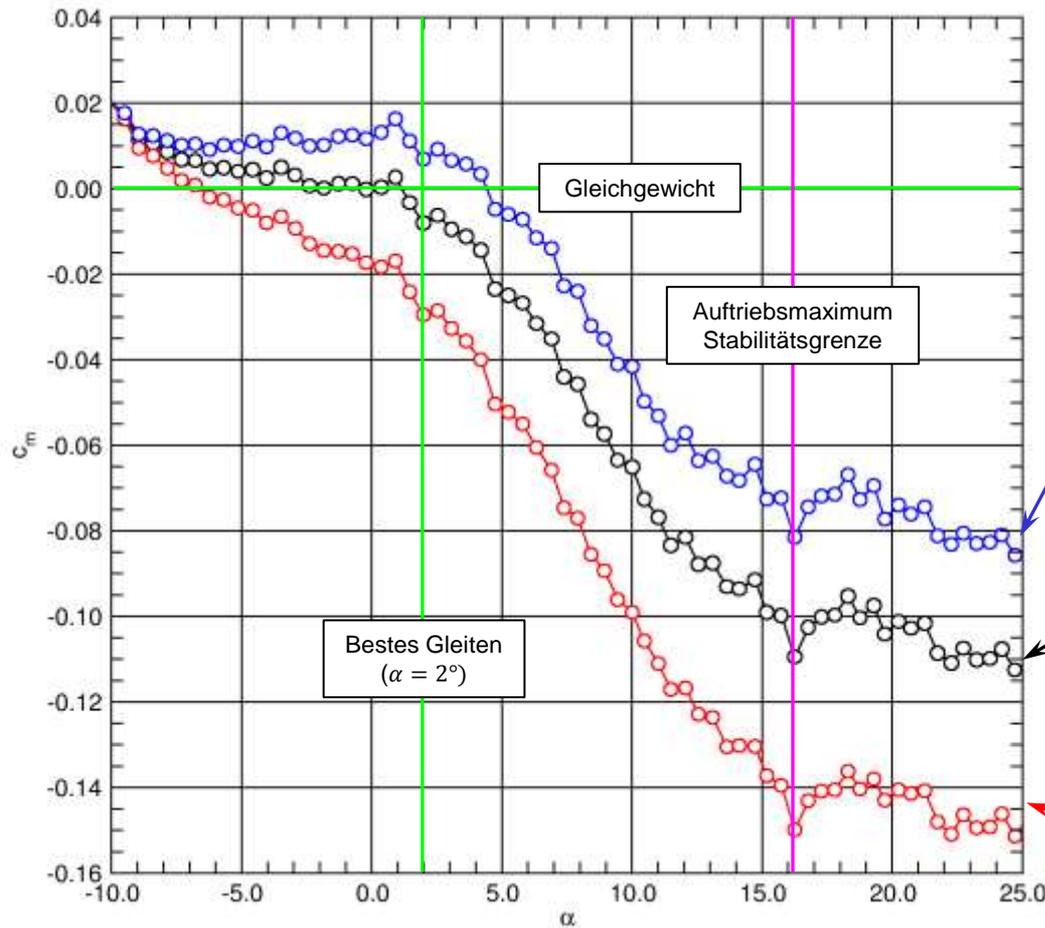
Lehrbuchform der Nickmomentenkurve: fallende Gerade (Verlauf bestimmt durch Aerodynamik und Schwerpunktlage)



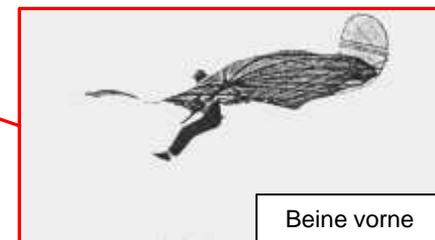
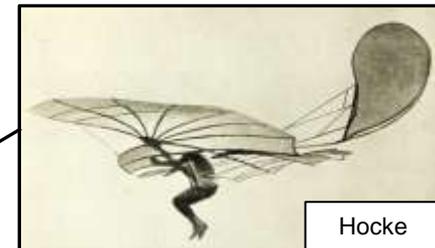
Messung der Schwerpunktverlagerung mit Testperson im Lilienthal-Gleiter



Die Nickmomentenkurve des Lilienthalgleiters



Messung: DLR / DNW

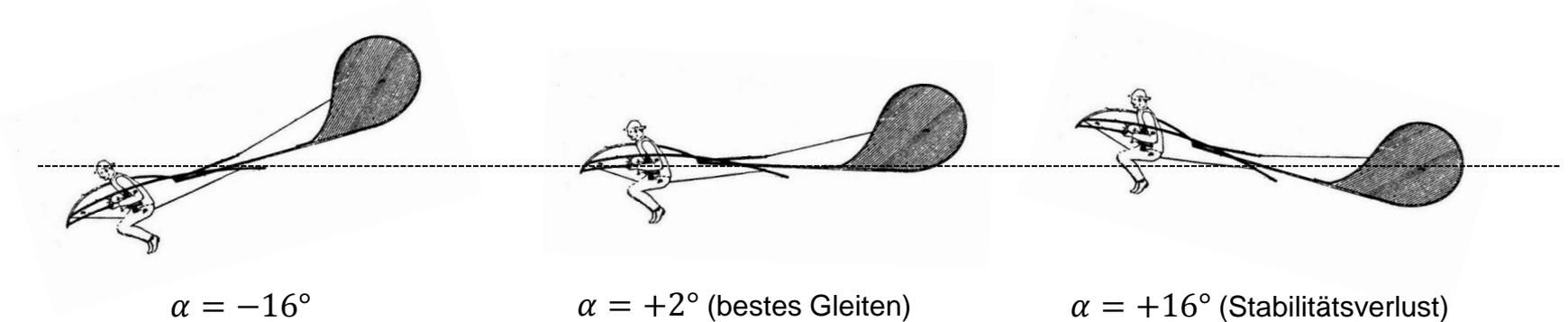


Resultat: Gleiter flugstabil bis zum Auftriebsmaximum ($\alpha \approx 16^\circ$) !

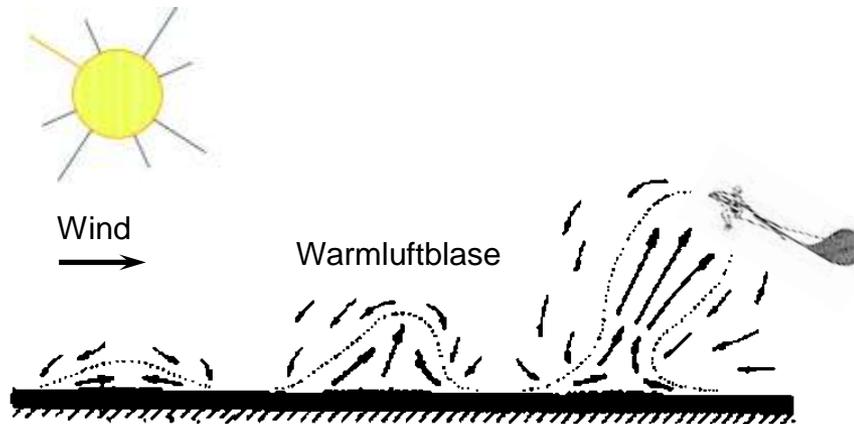


Betriebsgrenzen und mögliche Unfallursache

Sicherer Anstellwinkelbereich:



Gefahr: Einflug in eine thermische Ablösung ("Sonnenbö")

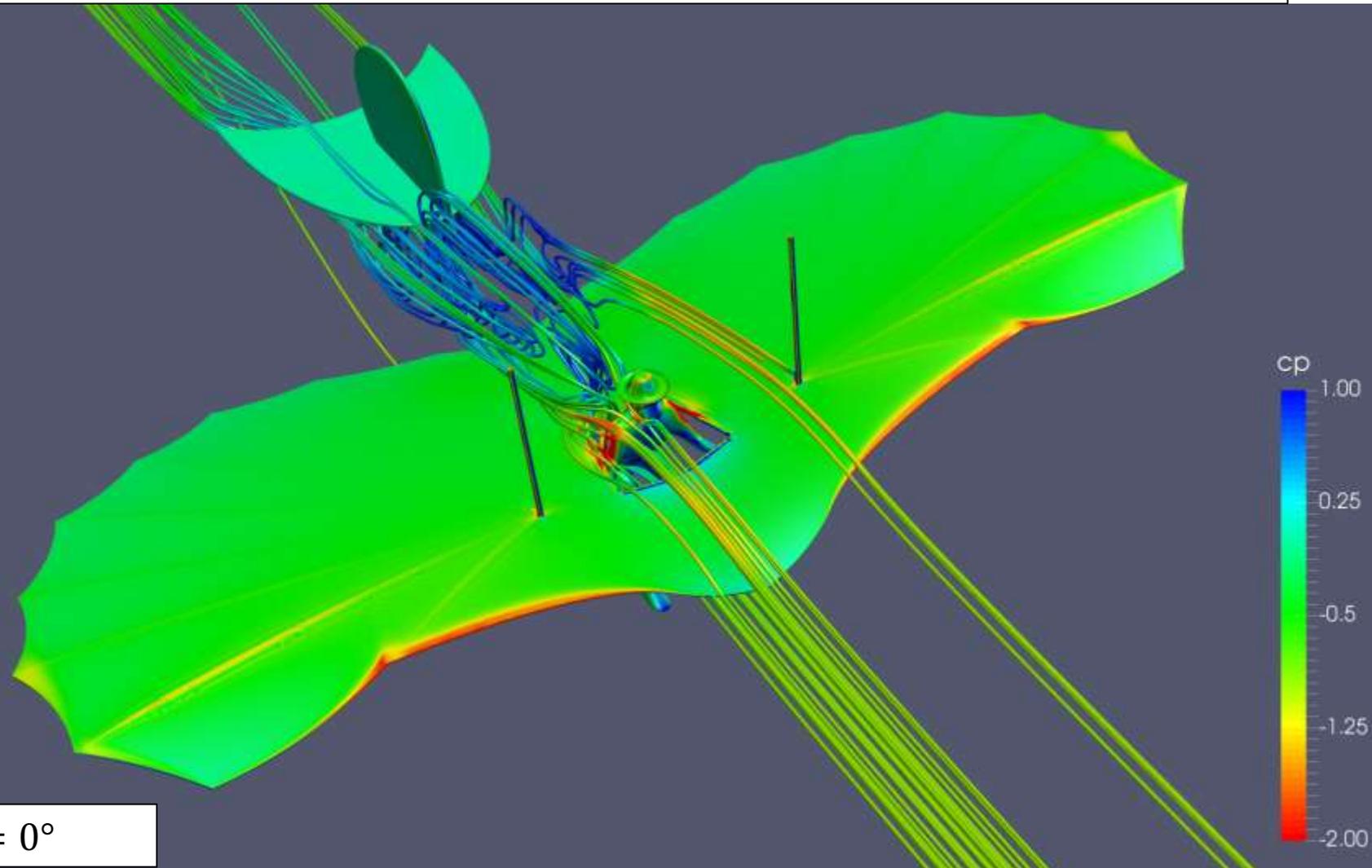


mögliches Unfallszenario:

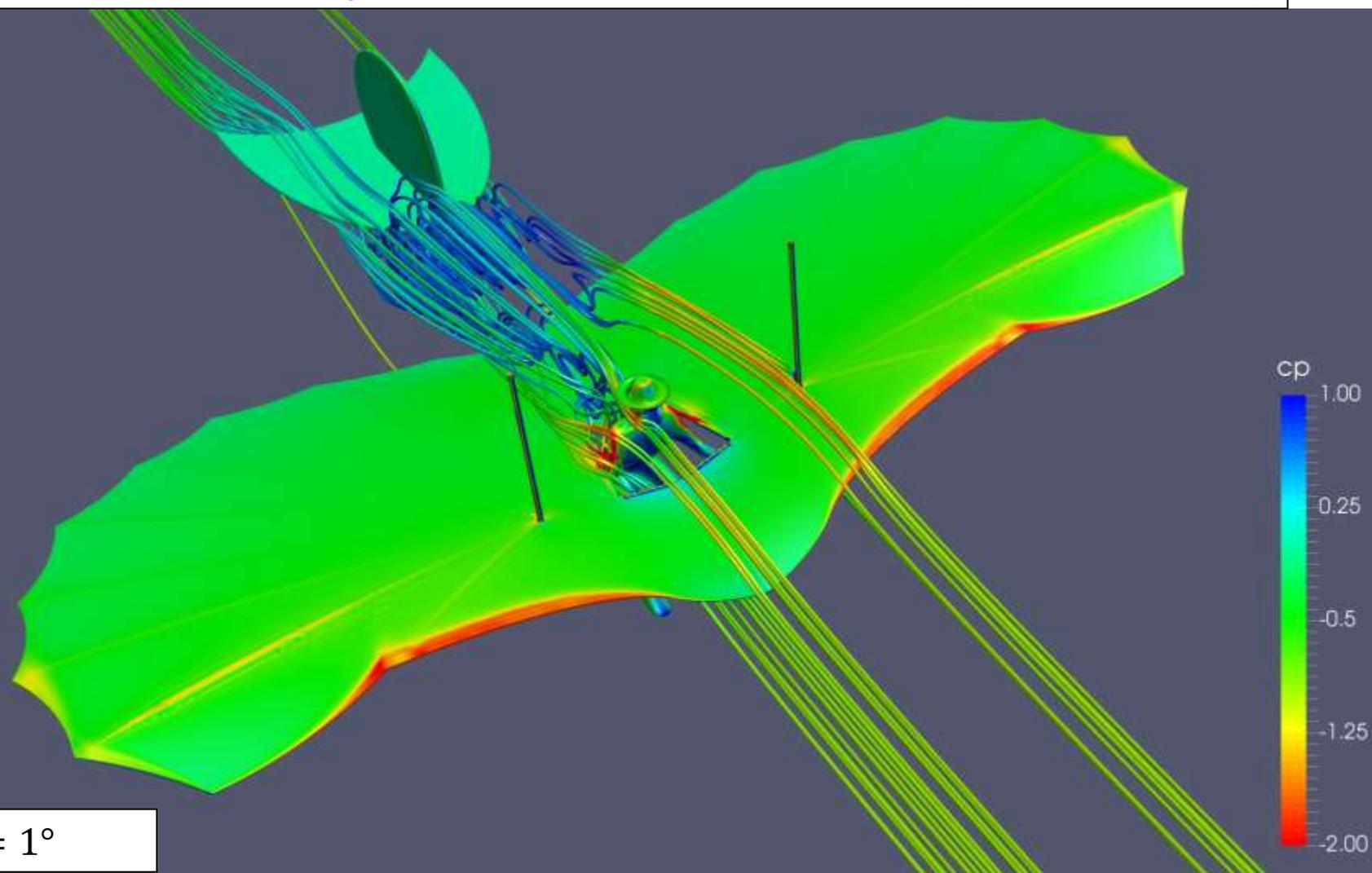
- Einflug in Aufwindzone
- Anheben der Nase über 16°
- Aufbäumen des Gleiters, Fahrtverlust
- Absturz durch Strömungsabriss



Numerische Strömungssimulation des Lilienthal-Gleiters (DLR TAU Code)



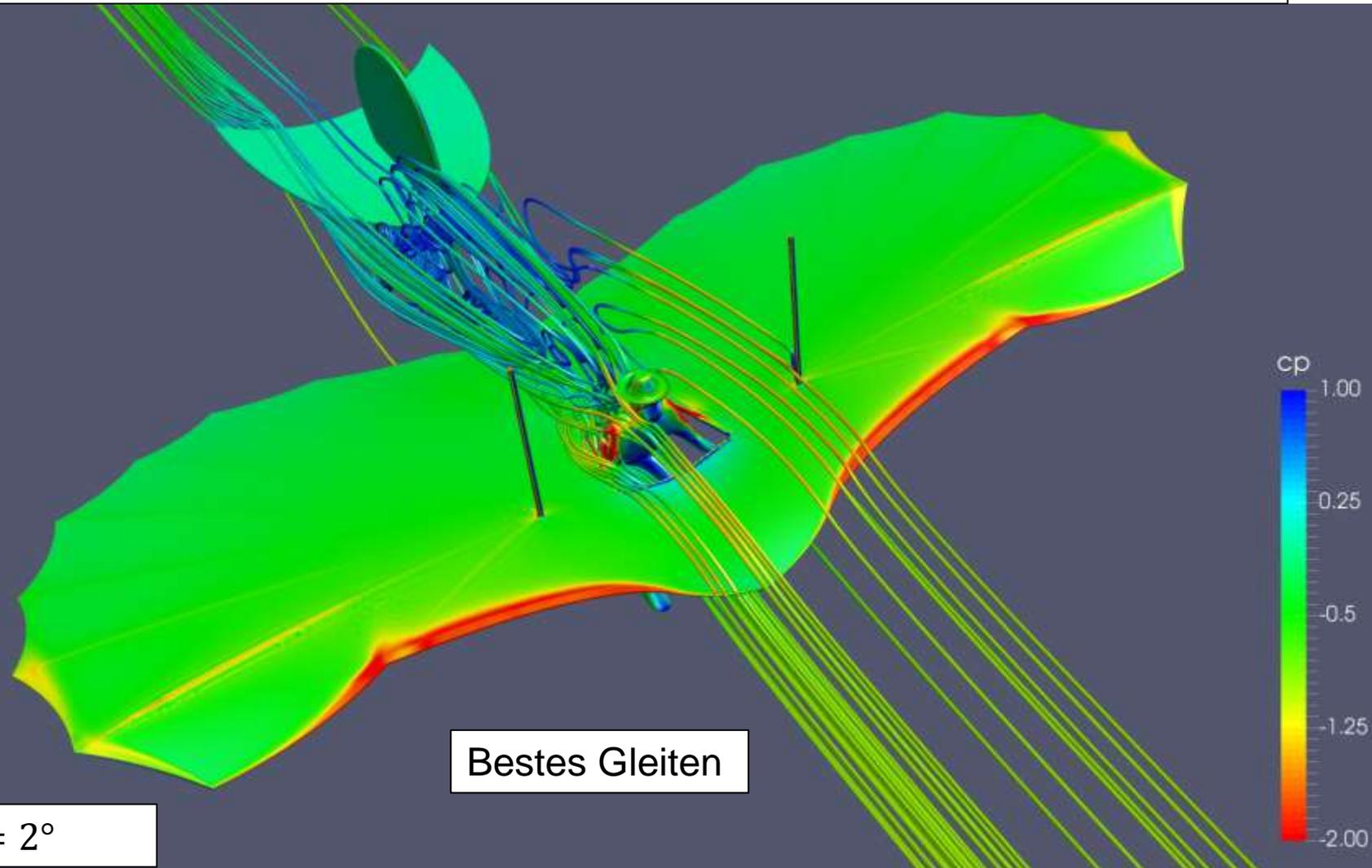
Numerische Strömungssimulation des Lilienthal-Gleiters (DLR TAU Code)



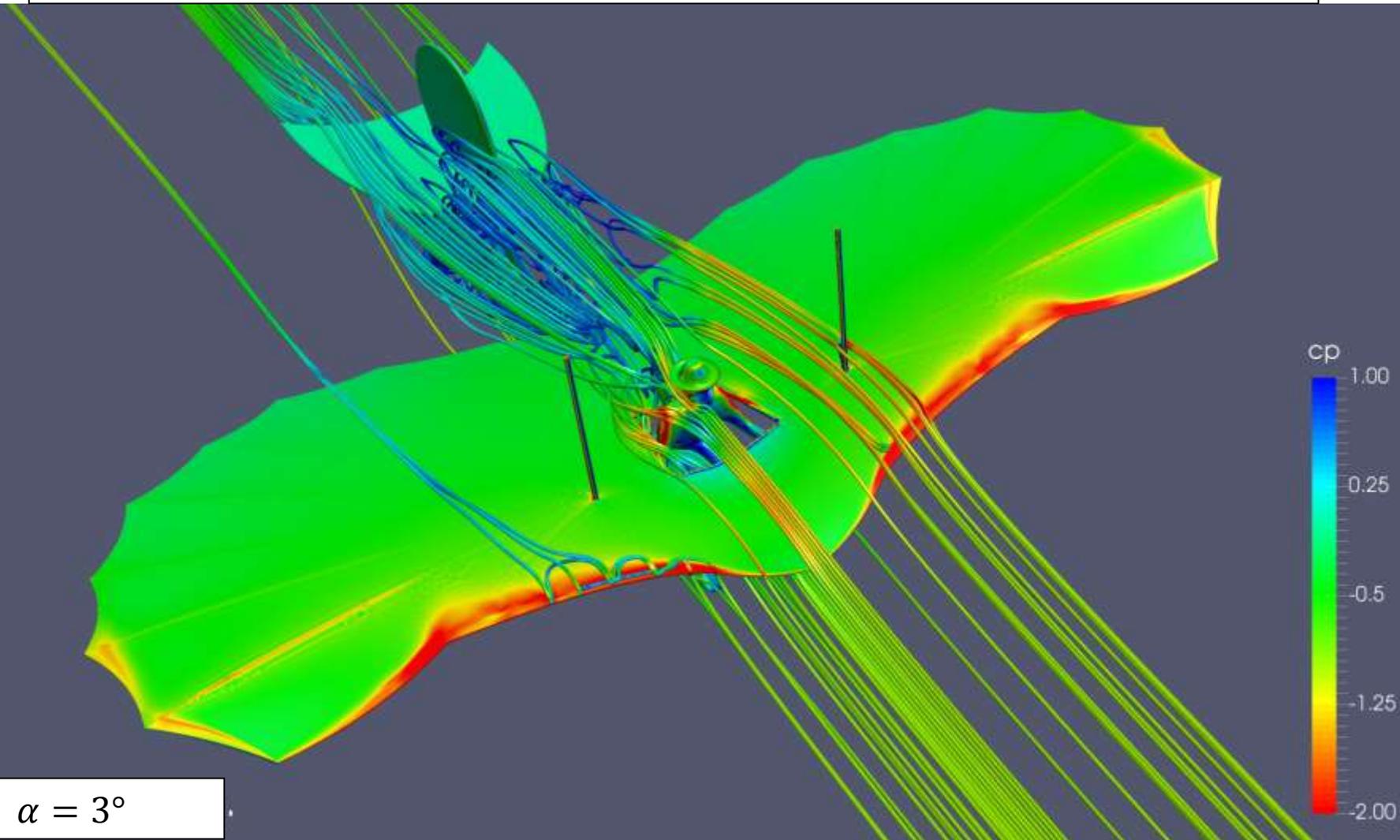
$\alpha = 1^\circ$



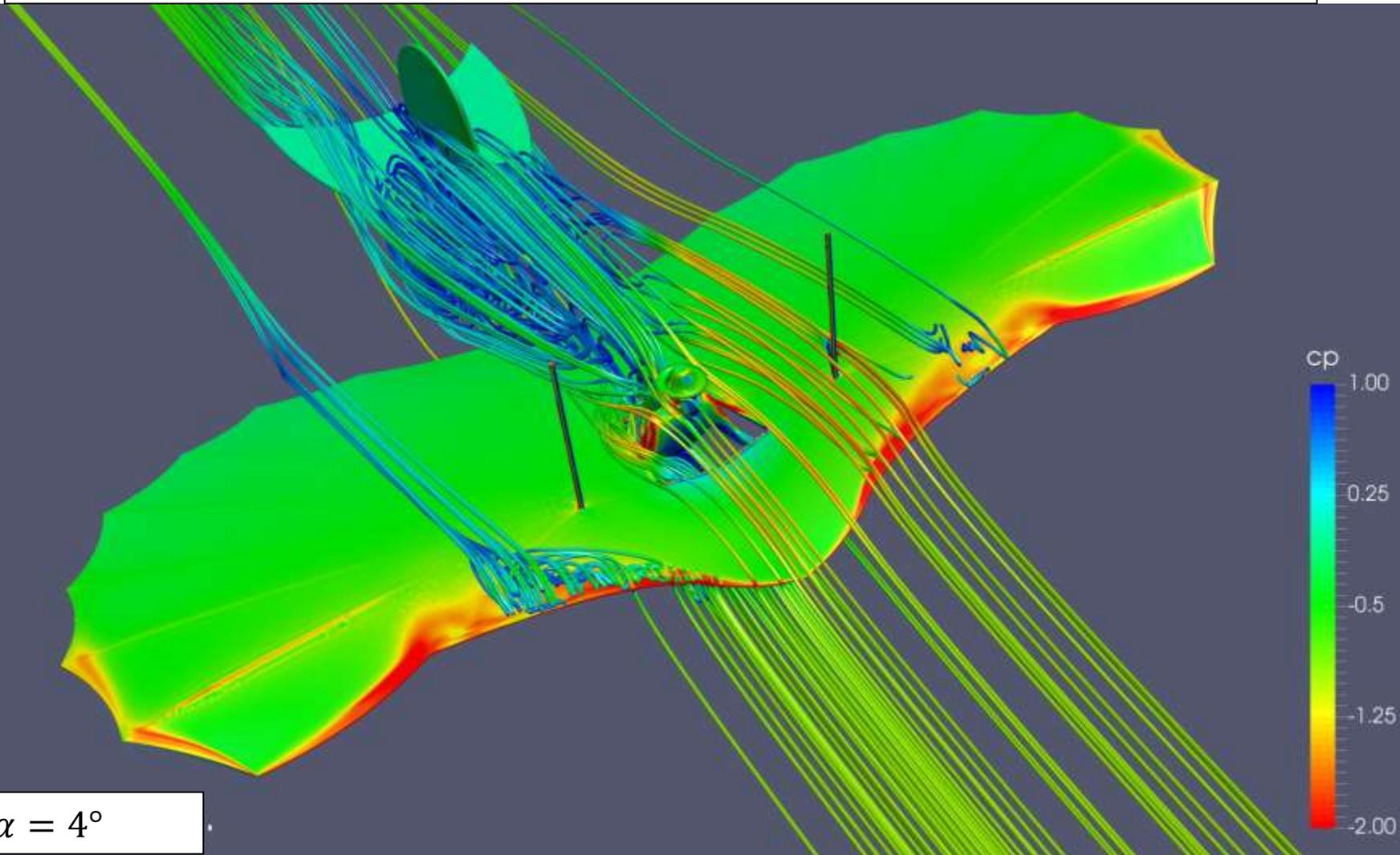
Numerische Strömungssimulation des Lilienthal-Gleiters (DLR TAU Code)



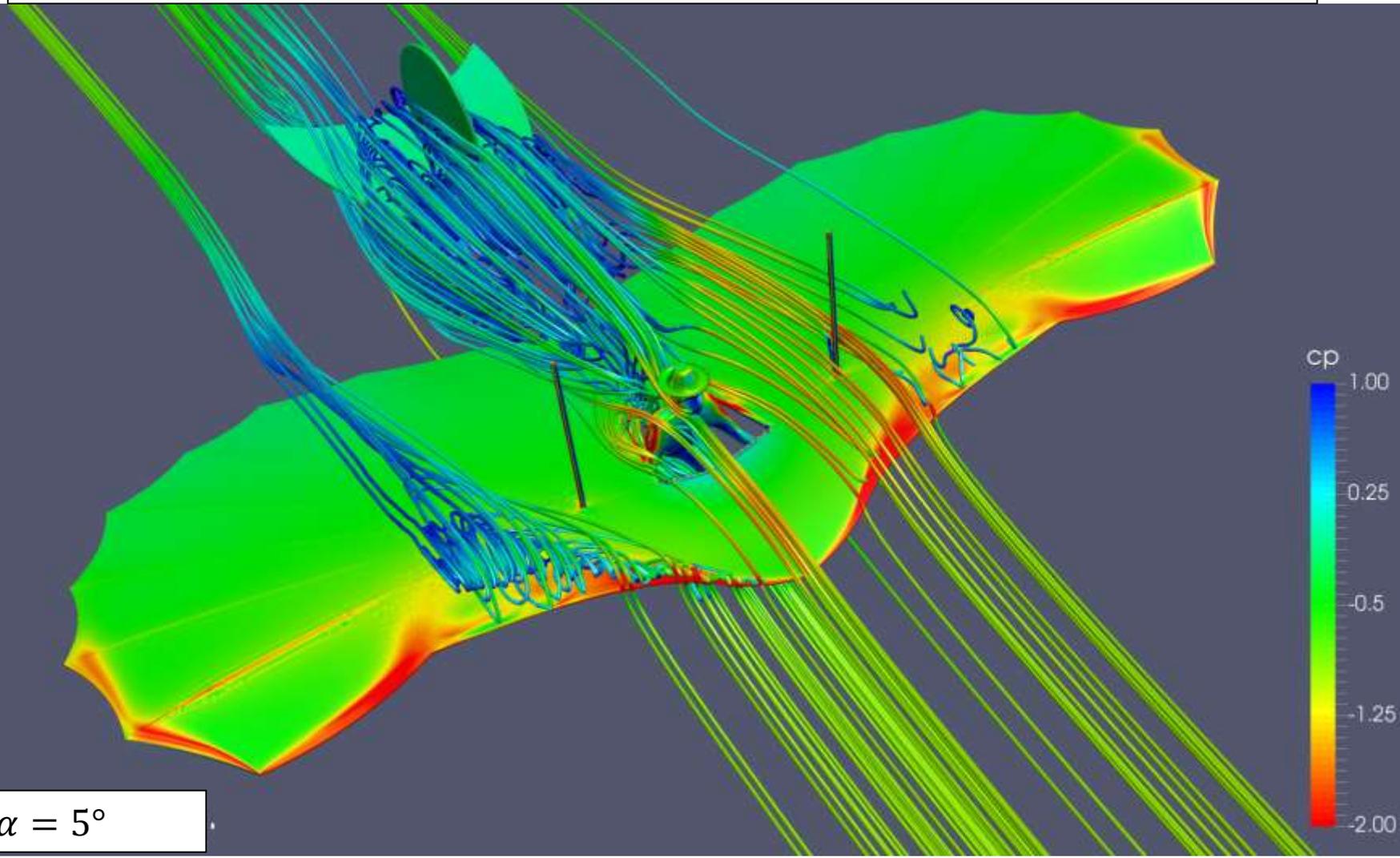
Numerische Strömungssimulation des Lilienthal-Gleiters (DLR TAU Code)



Numerische Strömungssimulation des Lilienthal-Gleiters (DLR TAU Code)



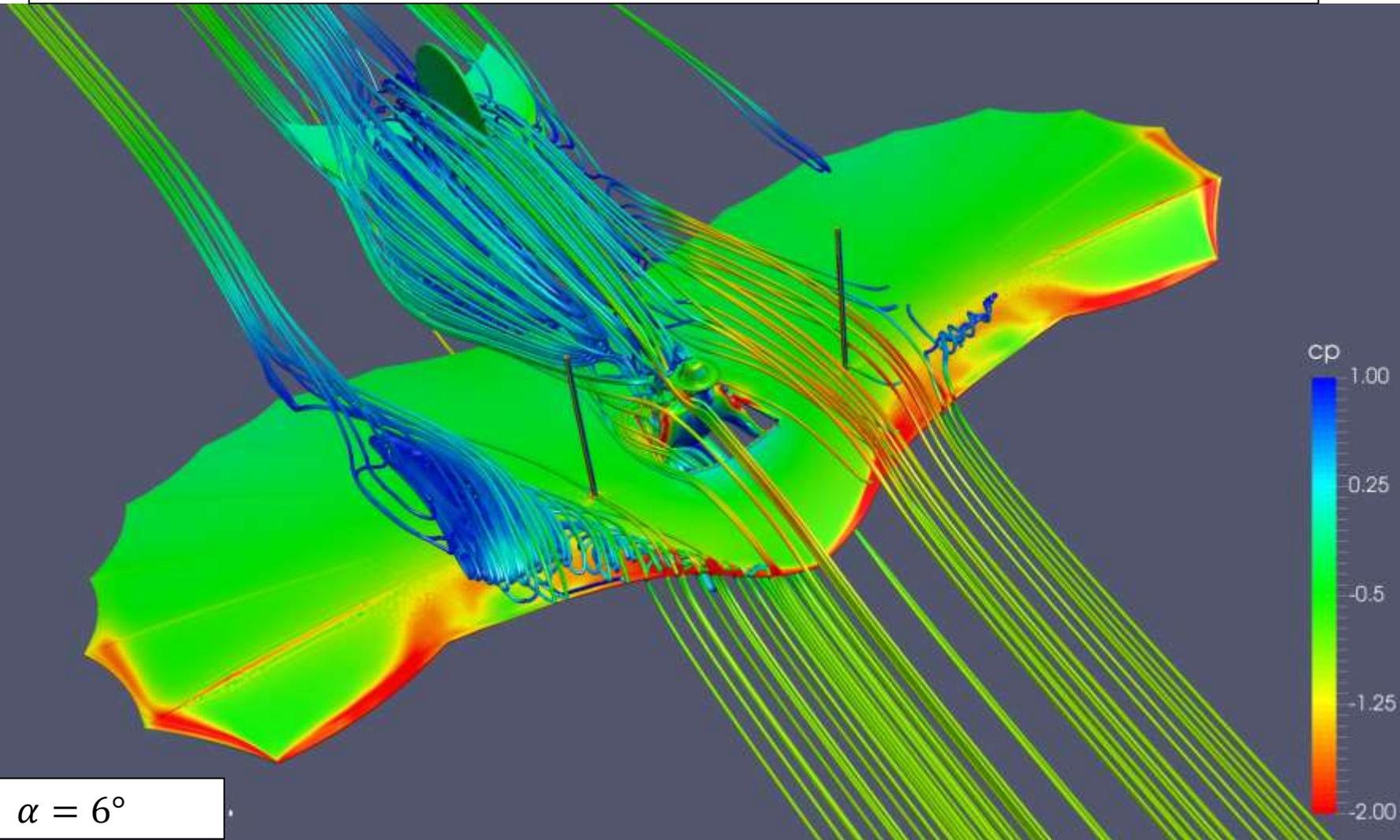
Numerische Strömungssimulation des Lilienthal-Gleiters (DLR TAU Code)



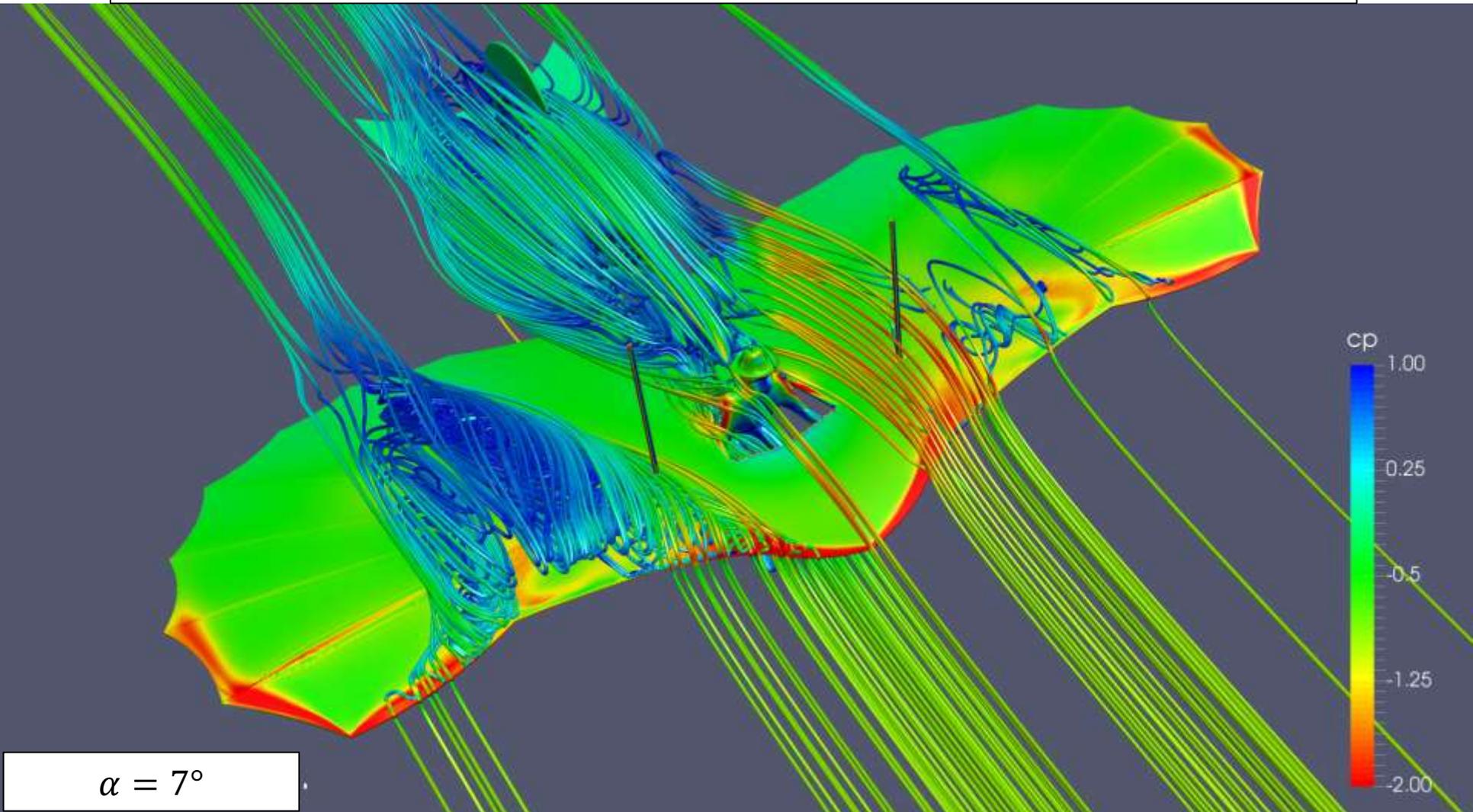
$\alpha = 5^\circ$



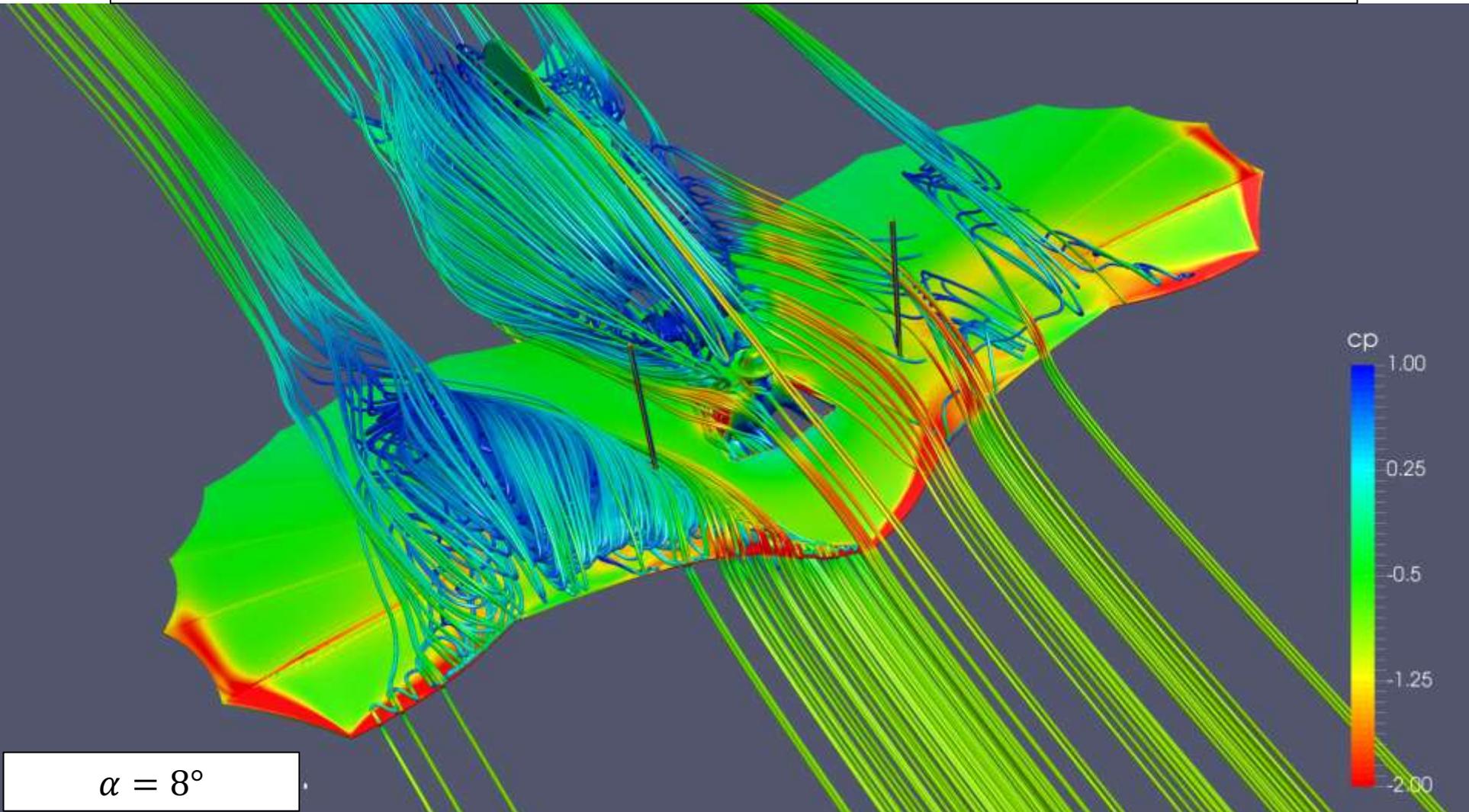
Numerische Strömungssimulation des Lilienthal-Gleiters (DLR TAU Code)



Numerische Strömungssimulation des Lilienthal-Gleiters (DLR TAU Code)



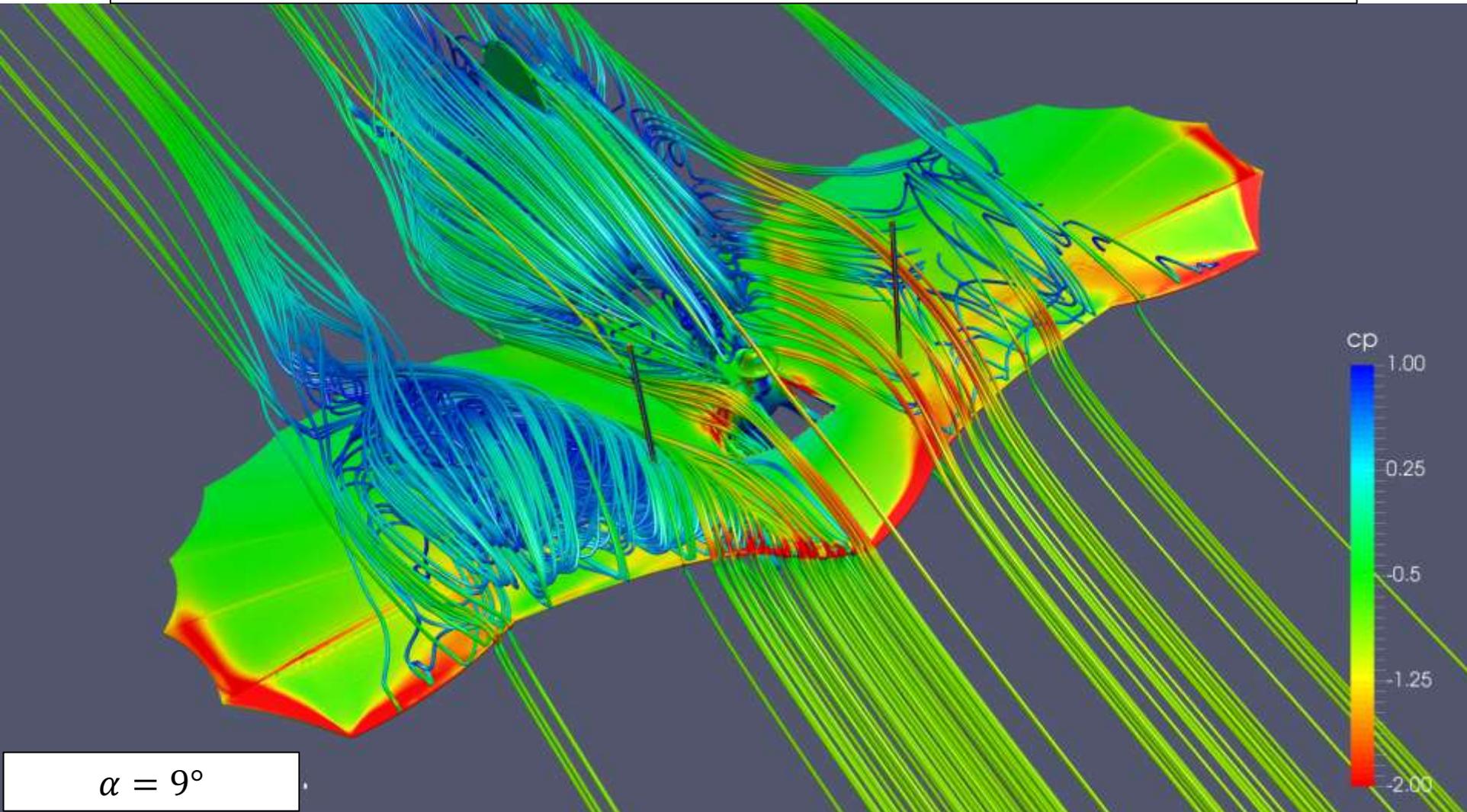
Numerische Strömungssimulation des Lilienthal-Gleiters (DLR TAU Code)



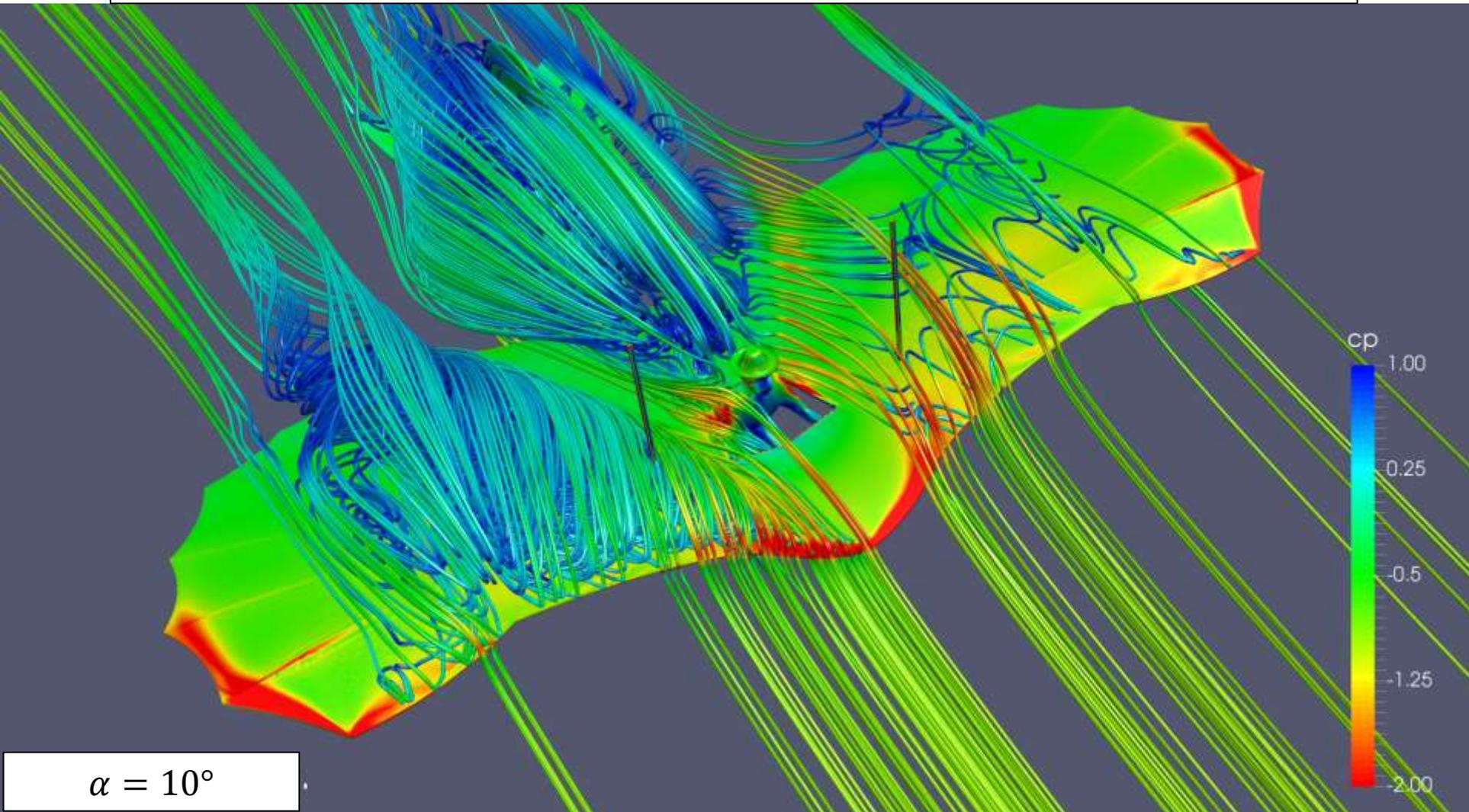
$\alpha = 8^\circ$



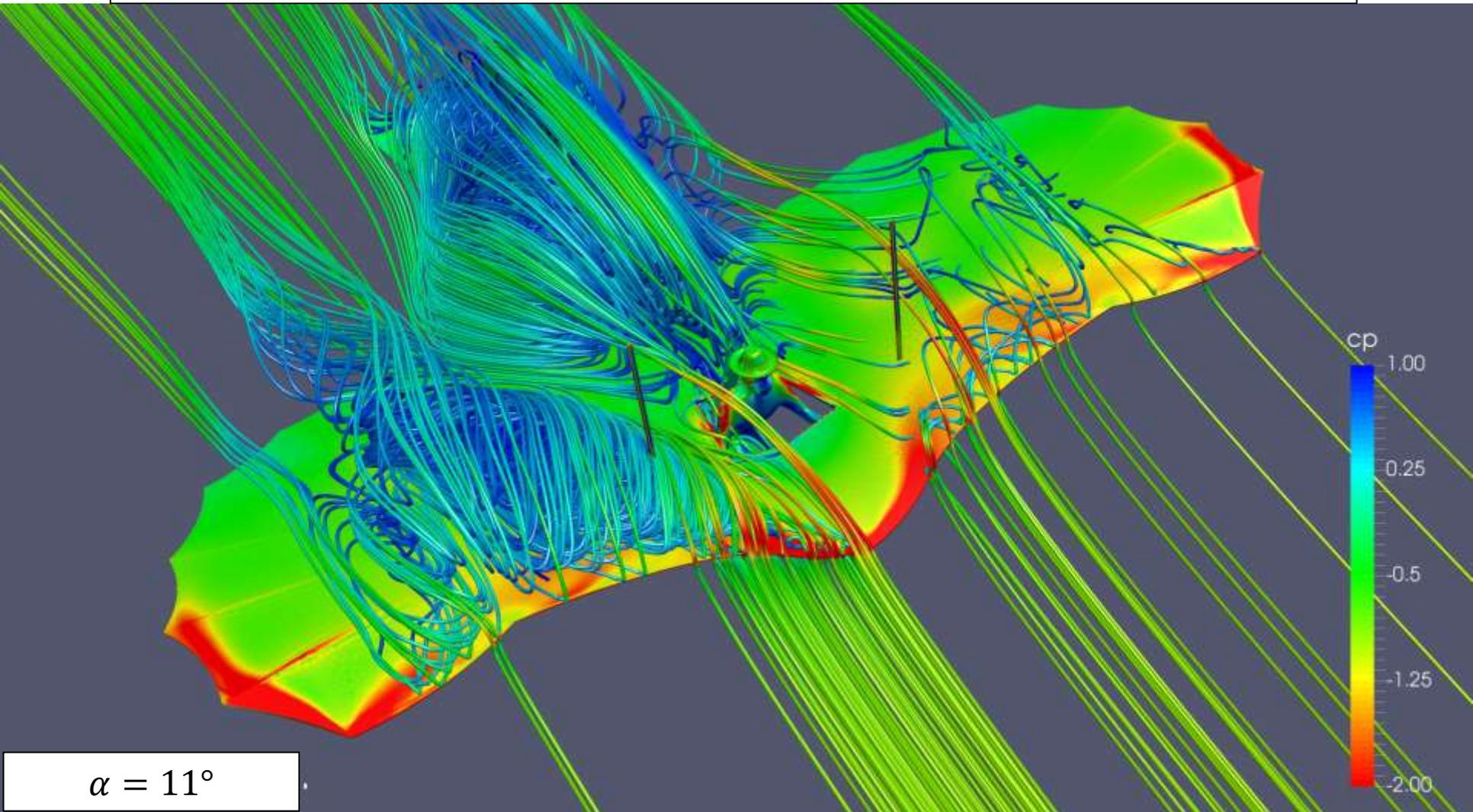
Numerische Strömungssimulation des Lilienthal-Gleiters (DLR TAU Code)



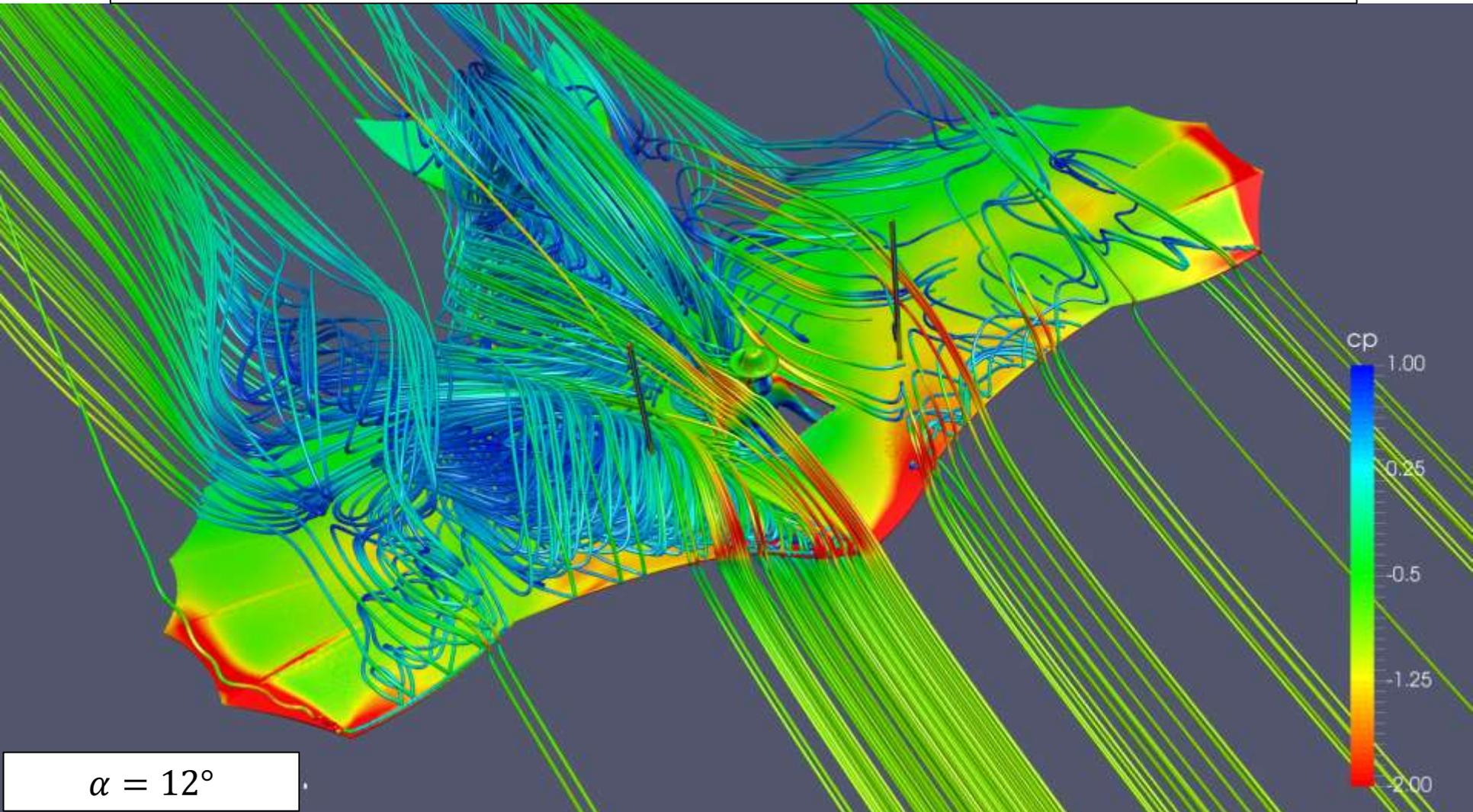
Numerische Strömungssimulation des Lilienthal-Gleiters (DLR TAU Code)



Numerische Strömungssimulation des Lilienthal-Gleiters (DLR TAU Code)



Numerische Strömungssimulation des Lilienthal-Gleiters (DLR TAU Code)



DLR-Lilienthal-Projekt: Bisherige Erkenntnisse

- Lilienthal verfügte über das notwendige Wissen zum Bau eines vollwertigen Flugzeugs
- Der Gleiter war eine aerodynamisch solide Konstruktion
- Die Gleitzahl betrug 3.6
- Die Fluggeschwindigkeit beim besten Gleiten betrug ca. 14 m/s (50 km/h)
- Der Gleiter war um alle drei Achsen aerodynamisch stabil
- Flugeigenschaften: gutmütig, ohne aerodynamische Tücken
- Keine Hinweise auf Konstruktionsfehler
- Aber: beschränkte Manövrierfähigkeit, d.h. sicherer Betrieb nur in ruhiger Luft





Deutsches Zentrum
DLR für Luft- und Raumfahrt

P R E S S E K O N F E R E N Z



Knowledge for Tomorrow

Wissen für Morgen

DLR.de