

# Kostengünstige, Leichtbau-Flugwindkraftanlage

**Manuel Buggisch**

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)  
Institut für Systemleichtbau  
Braunschweig**

**Submission ID: DLRK2024\_630143**

**02.10.2024**



Wissen für Morgen



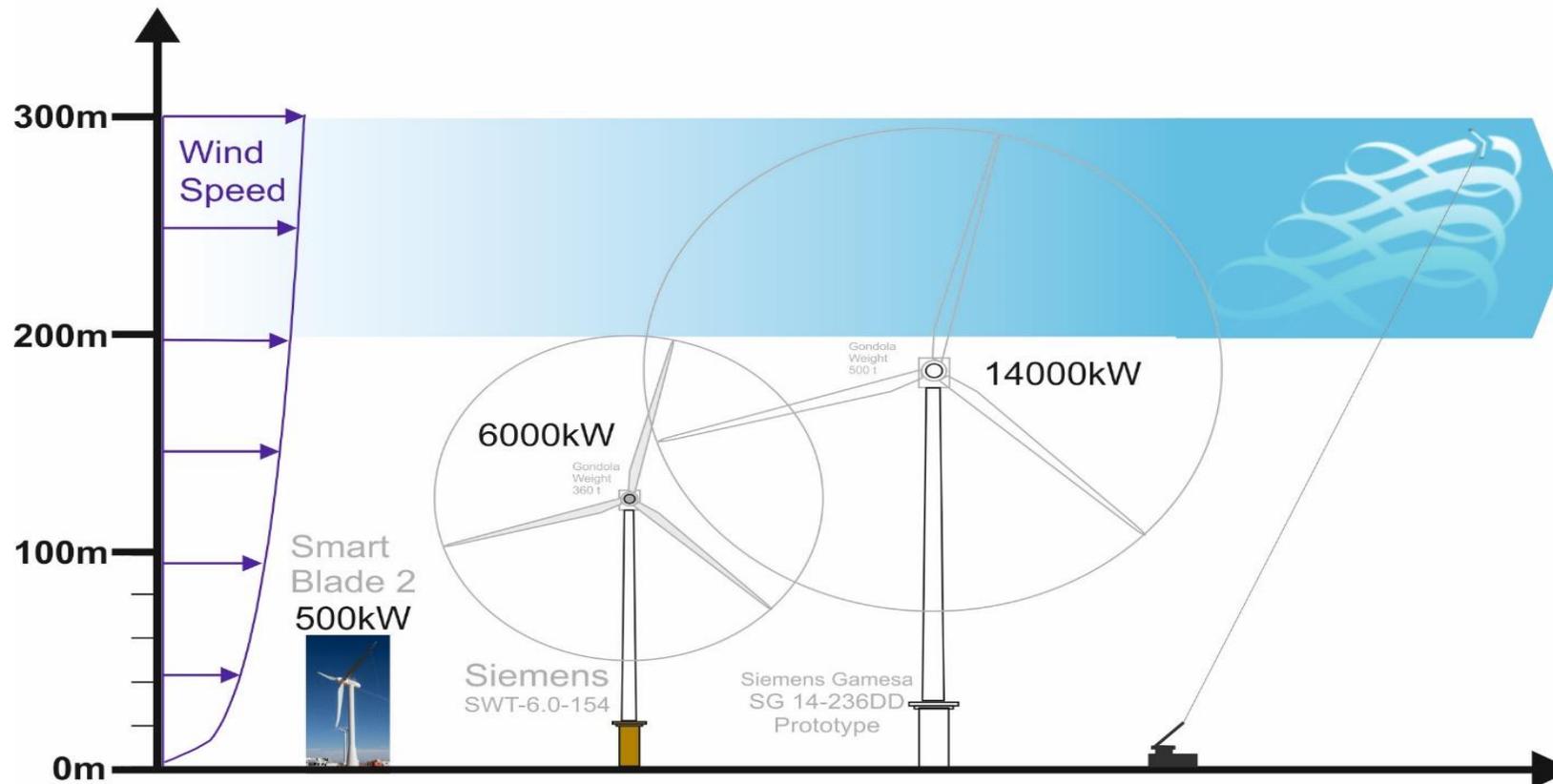
# Inhalt

1. Einführung
2. Enerkite Flugwindkraftanlagen
3. Verbundprojekt Enerwing
  - 3.1 Auslegung
  - 3.2 Testsegmente
  - 3.3 1. Prototyp
  - 3.4 Belastungstest
  - 3.5 Kosten
4. Ergebnisse
5. Ausblick



# Einführung

- Höhenwinde wehen stark und beständig

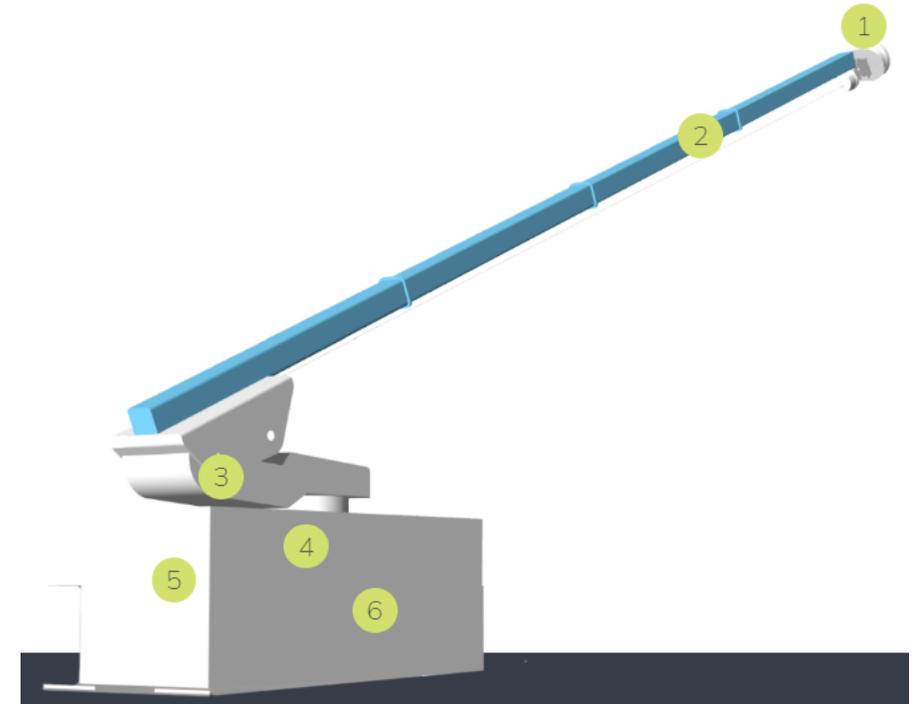


[Direct interconnection technique applied to marine renewable generators, specifically airborne wind energy \(ul.ie\)](http://ul.ie)

# Enerkite Flugwindkraftanlagen

- **Maximale Robustheit am Boden**

- 1 Docking-Vorrichtung
- 2 Mast
- 3 Seiltrommeln mit Getriebe und Generator
- 4 Steuerung
- 5 Umrichter
- 6 Batteriesystem

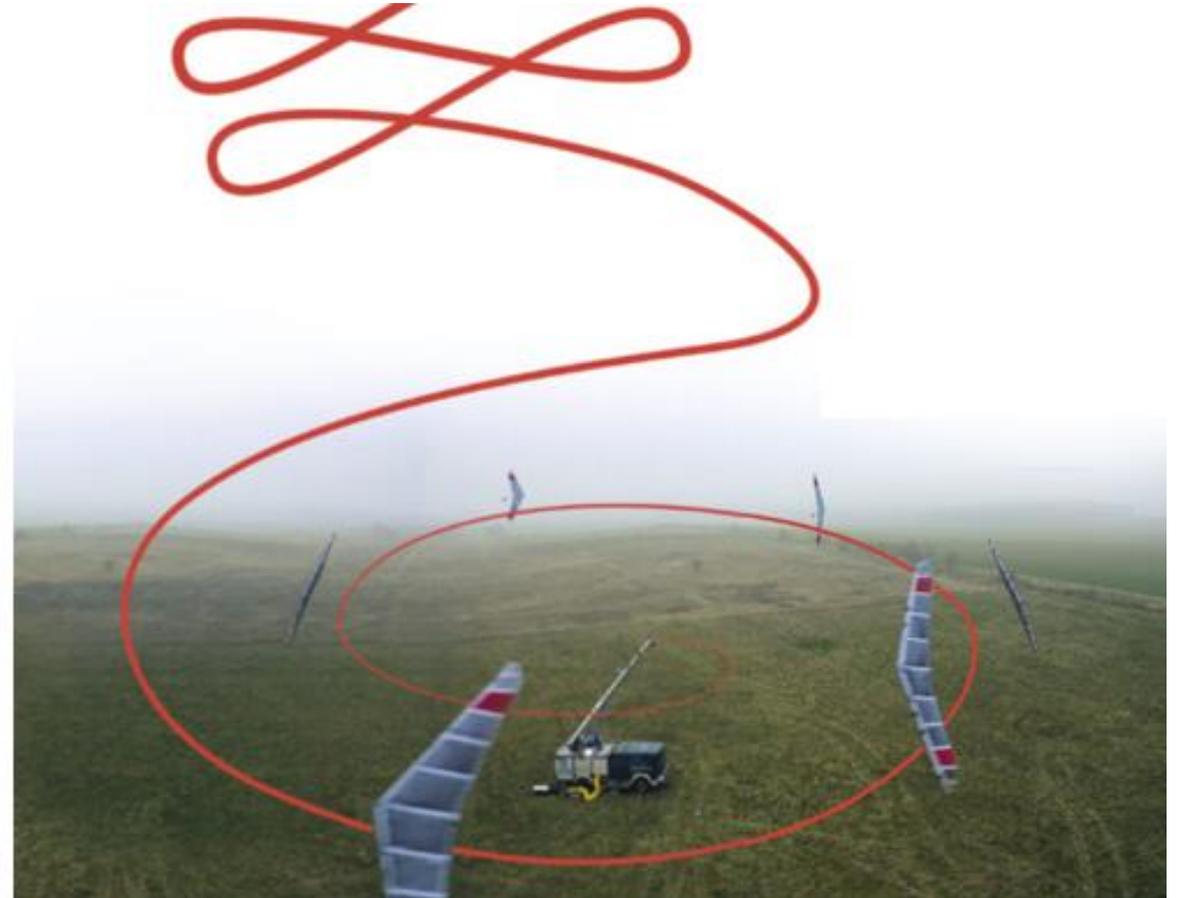


**Ene rKite**



# Enerkite Flugwindkraftanlagen

- Maximale Robustheit am Boden
- **Vollautomatisches Starten und Landen am rotierenden Mast**

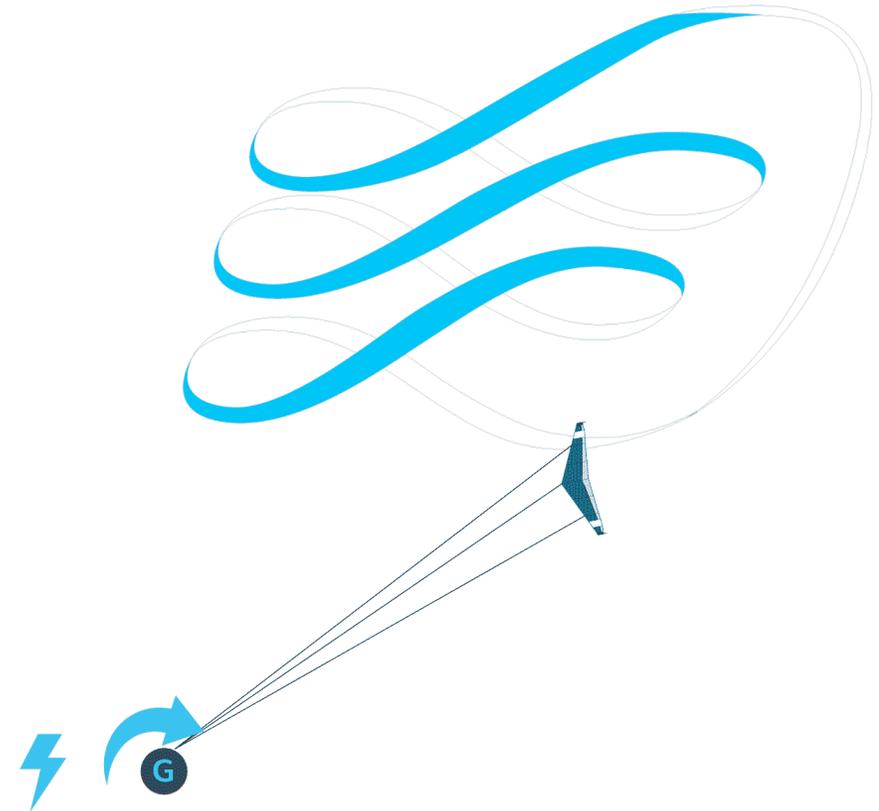


**Ene rKite**



# Enerkite Flugwindkraftanlagen

- Maximale Robustheit am Boden
- Vollautomatisches Starten und Landen am rotierenden Mast
- **Zyklischer Generatorenbetrieb**

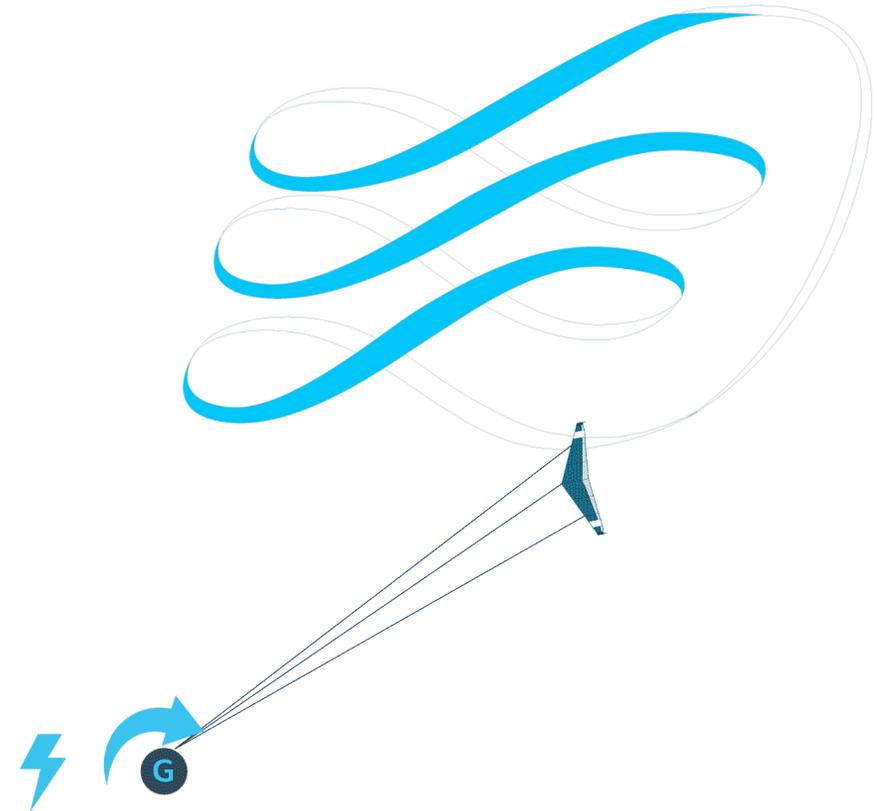


**Ene rKite**



# Enerkite Flugwindkraftanlagen

- Maximale Robustheit am Boden
- Vollautomatisches Starten und Landen am rotierenden Mast
- **Zyklischer Generatorenbetrieb**
  - Wenn 1 Erntezyklus = 1 Minute
    - > 55 s Ernten + 5 s Einholen

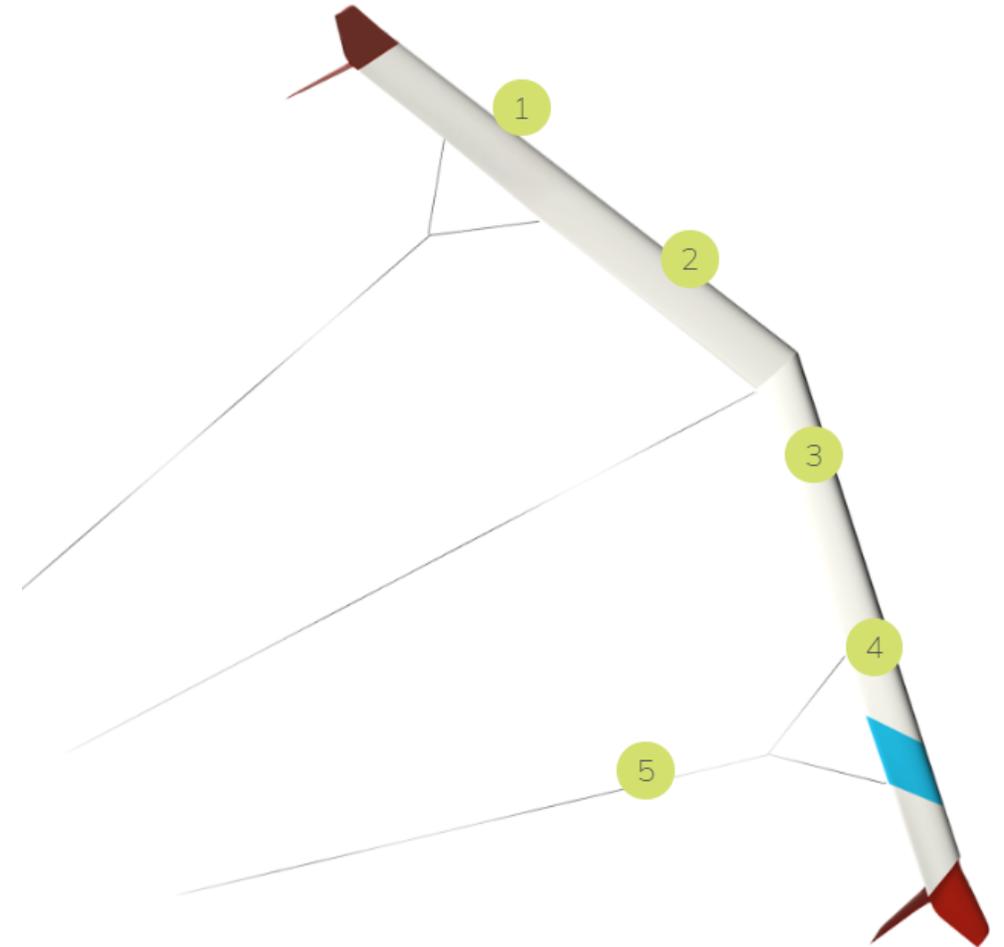


**Ene rKite**



# Enerkite Flugwindkraftanlagen

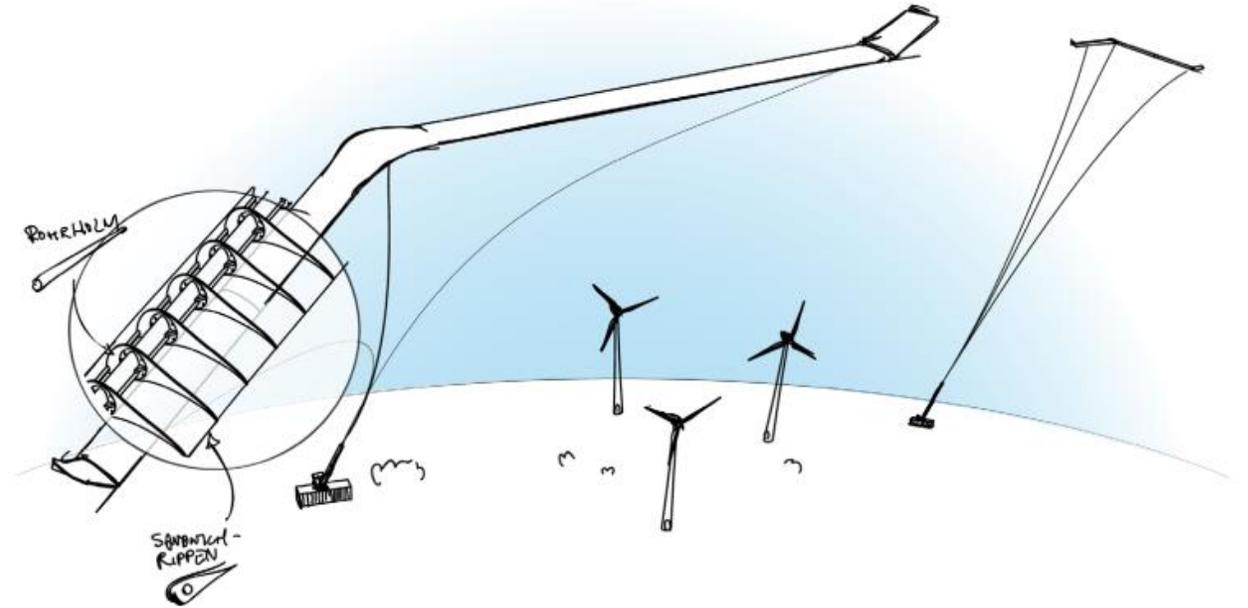
- Maximale Robustheit am Boden
- Vollautomatisches Starten und Landen am rotierenden Mast
- Zyklischer Generatorenbetrieb
- **Maximaler Ertrag aus der Luft**
  - 1 Faserverstärkte Hochleistungsmaterialien
  - 2 Hochleistungsprofil
  - 3 Bordrechner
  - 4 Bespannung
  - 5 Seil



**Ene rKite**



# Verbundprojekt Enerwing



Gefördert durch:



Ene rKite



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

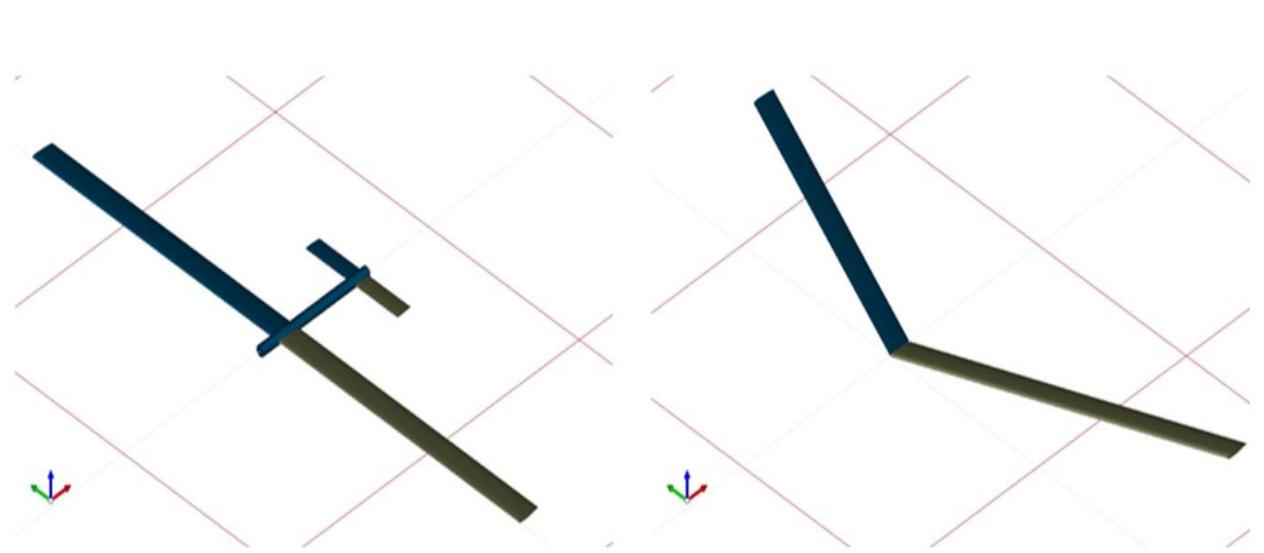


# Verbundprojekt Enerwing



- **Flügelkonfiguration**

- Drachen
- Nurflügler



Gefördert durch:

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

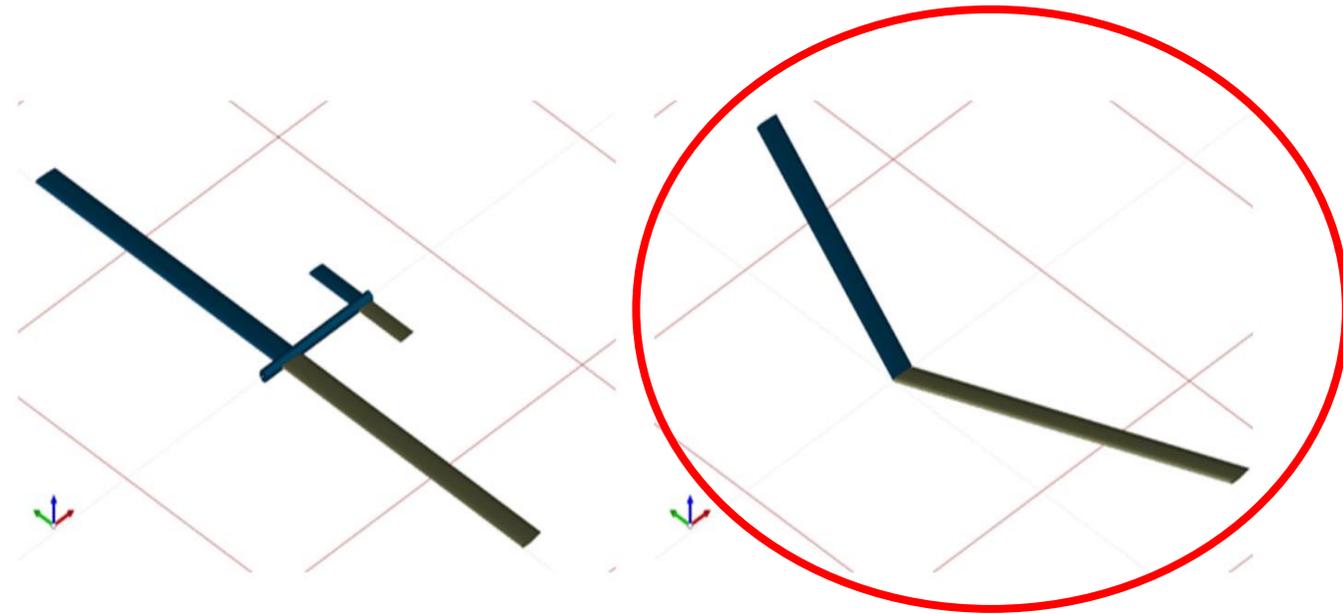


# Verbundprojekt Enerwing



## • Flügelkonfiguration

- Drachen
- Nurflügler

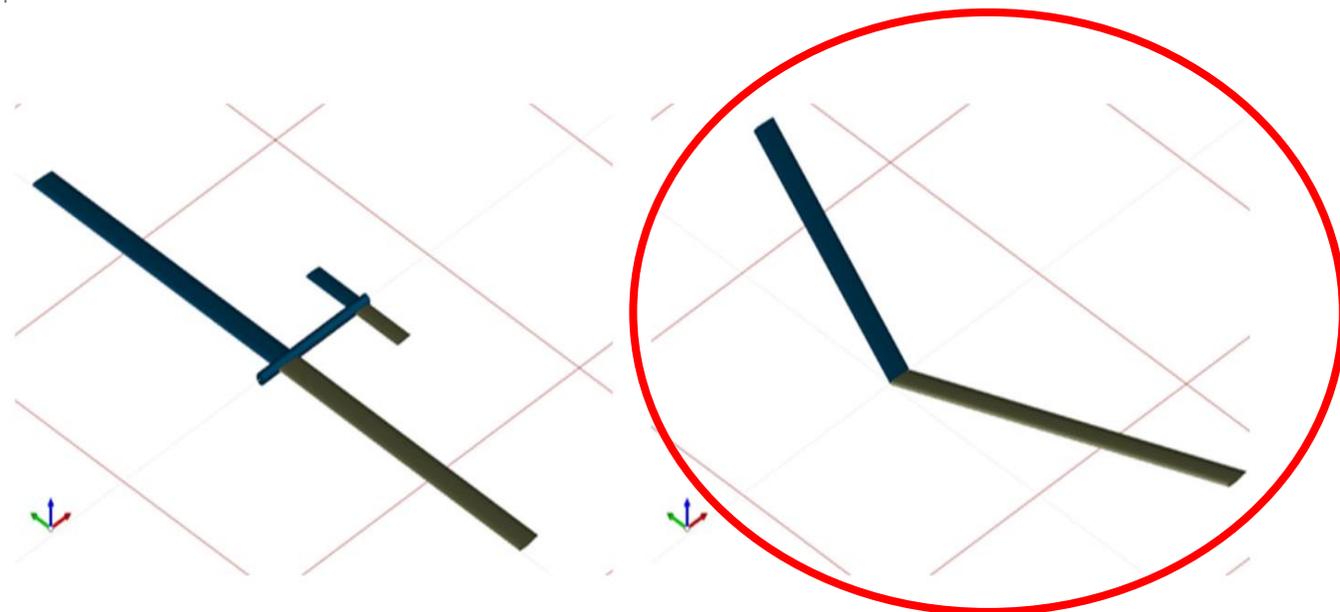


# Verbundprojekt Enerwing



## • Flügelkonfiguration

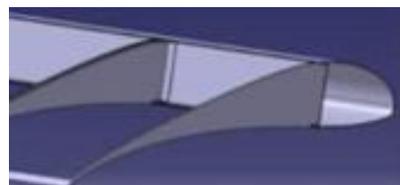
- Drachen
- Nurflügler



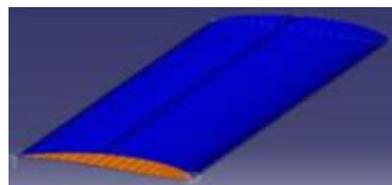
## • Bauweisenkonzept



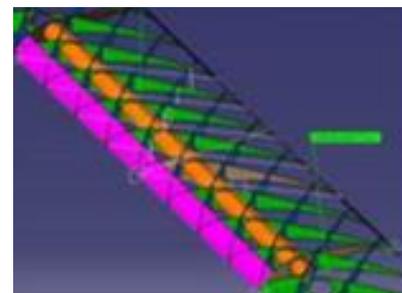
Halbzeug



AD&C



Vollschaale



Geodätisch



Holzkammer

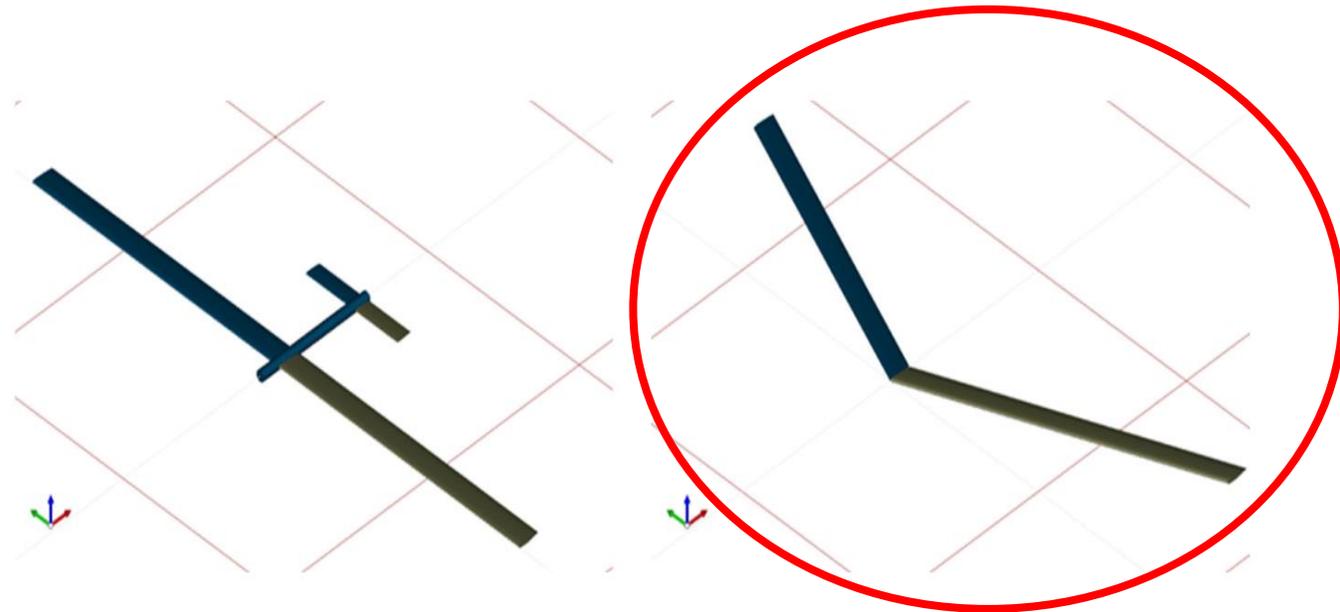


# Verbundprojekt Enerwing



## • Flügelkonfiguration

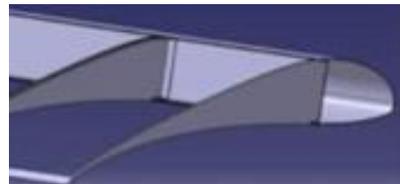
- Drachen
- Nurflügler



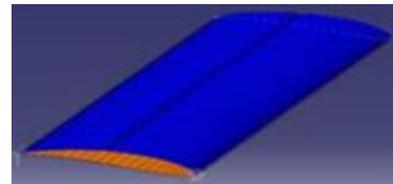
## • Bauweisenkonzept



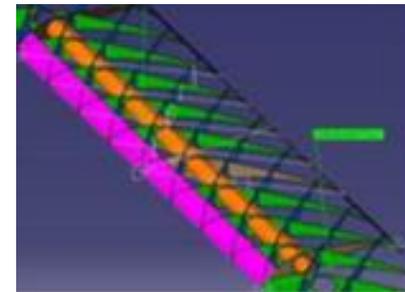
Halbzeug



AD&C



Vollschale



Geodätisch



Holzkammer



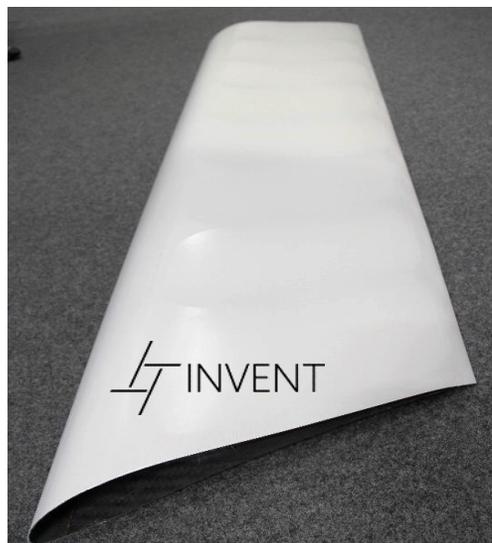
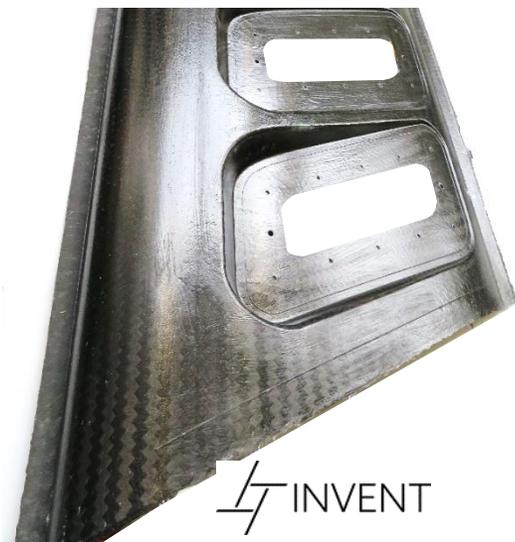
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



# Verbundprojekt Enerwing



## Hohlkammer-Bauweise

- 3D-Formgebung von Verbundwerkstoffen für ein robustes und leichtes Design
- Präzise aerodynamische Form

Gefördert durch:

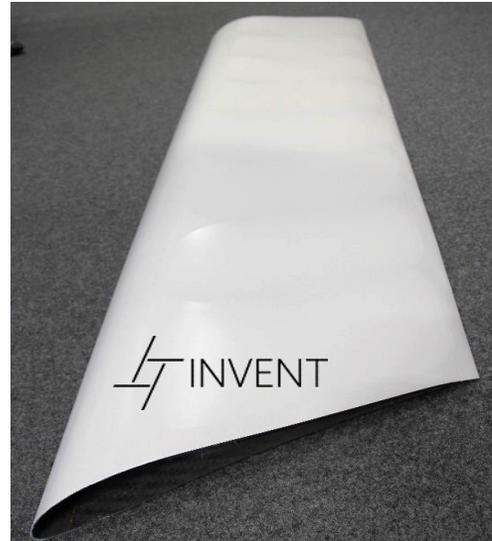
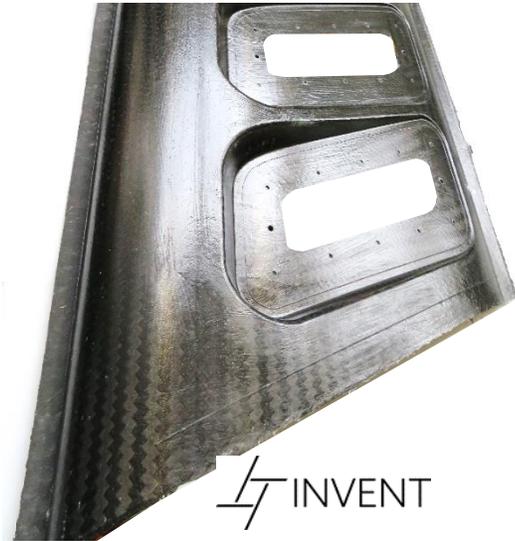


aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

EneKite

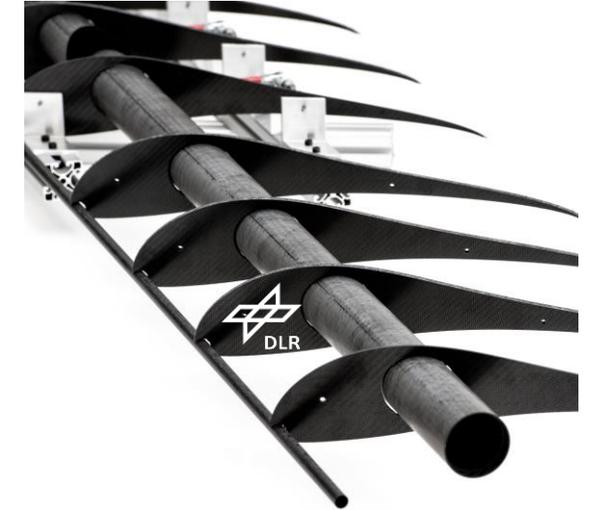


# Verbundprojekt Enerwing



## Hohlkammer-Bauweise

- 3D-Formgebung von Verbundwerkstoffen für ein robustes und leichtes Design
- Präzise aerodynamische Form



## Halbzeug-Bauweise

- CFK Rohre und ebene Sandwichplatten
- Halbzeuge und Profildesign können einfach variiert, angepasst und skaliert werden

Gefördert durch:

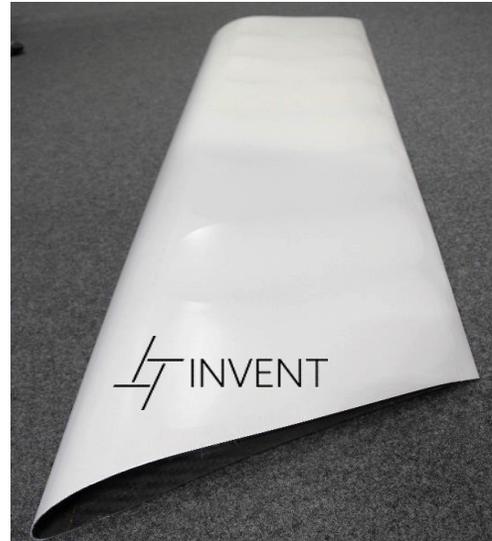
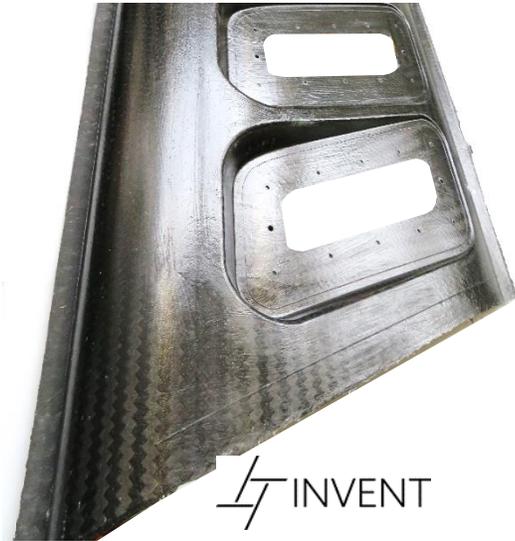


aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**EnerKite**

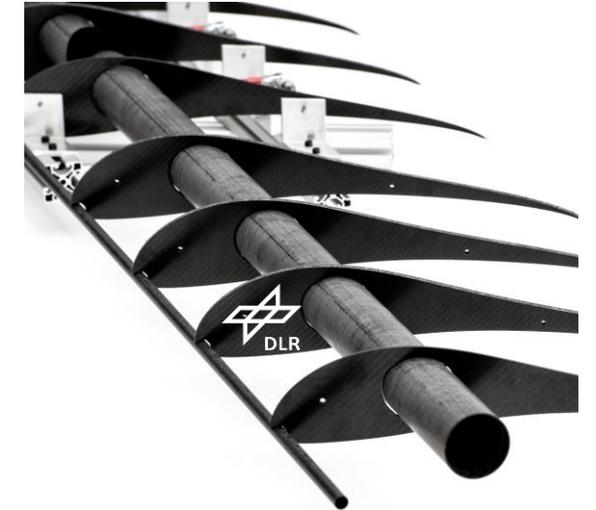


# Verbundprojekt Enerwing



## Hohlkammer-Bauweise

- Aerodynamisch effizienter Flügel zur Maximierung der Energiegewinnung
- **höherer Wirkungsgrad**



## Halbzeug-Bauweise

- Energieeffiziente, automatisierbare Produktion einfacher Standardbauteile
- **geringe Produktionskosten**

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**EnerKite**



# Verbundprojekt Enerwing



- **Misch-Design**

- Hohlkammer-Bauweise bei Center Wing Box, Steuerflächen und Winglets
- Halbzeug-Bauweise für Flügelsegmente

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

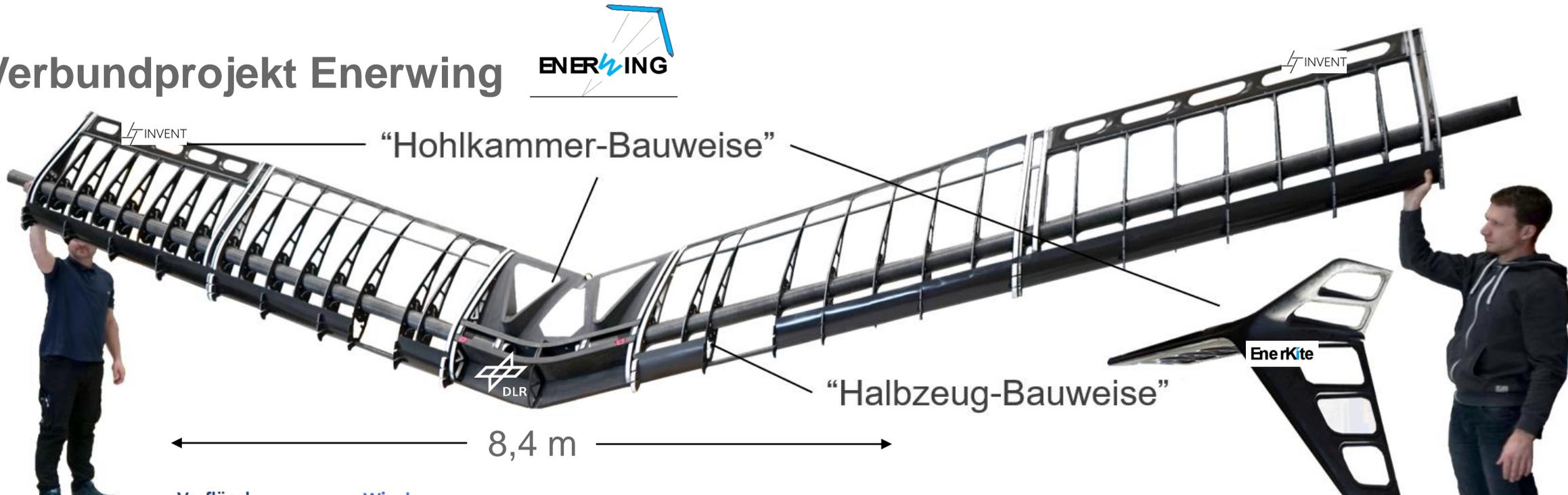
**EnerKite**



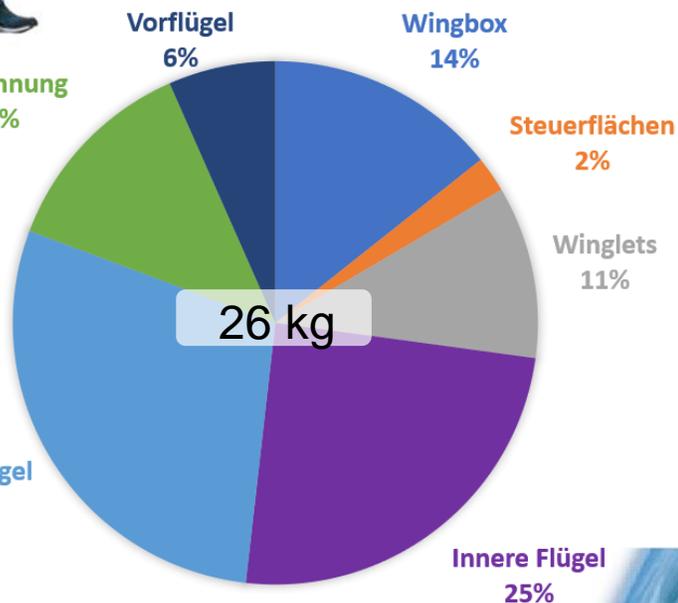
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Verbundprojekt Enerwing



8,4 m



## • Misch-Design

- Hohlkammer-Bauweise bei Center Wing Box, Steuerflächen und Winglets
- Halbzeug-Bauweise für Flügelsegmente

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



# Verbundprojekt Enerwing



- Kritische Flügeldetails
  - Flügelvorderkante und Vorflügelanbindung



Gefördert durch:



EnerKite



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Verbundprojekt Enerwing



- **Kritische Flügeldetails**

- Flügelvorderkante und Vorflügelanbindung
- **Holm-Rippenverbindung**
- **Steuerflächenlagerung**



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**EnerKite**



**INVENT**



# Verbundprojekt Enerwing



- **Kritische Flügeldetails**
  - Flügelvorderkante und Vorflügelanbindung
  - Holm-Rippenverbindung
  - Steuerflächenlagerung
  - **Hinterkantenverstärkung**



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**EnerKite**

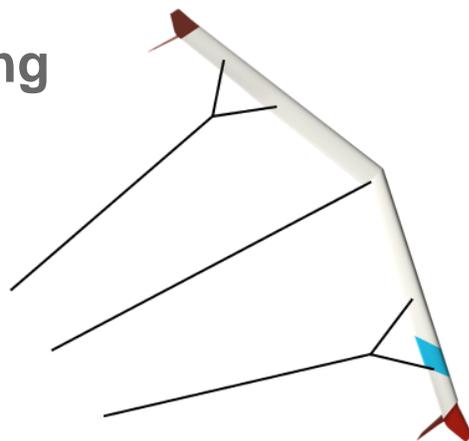
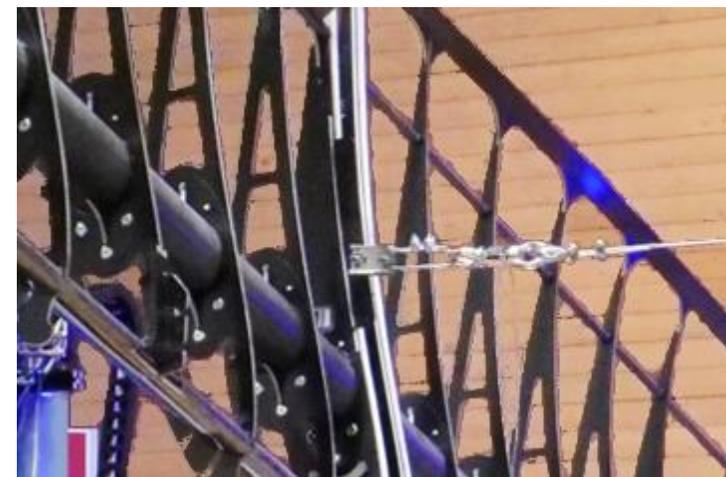


# Verbundprojekt Enerwing



## • Kritische Flügeldetails

- Flügelvorderkante und Vorflügelanbindung
- Holm-Rippenverbindung
- Steuerflächenlagerung
- Hinterkantenverstärkung
- Seilanbindung



Gefördert durch:



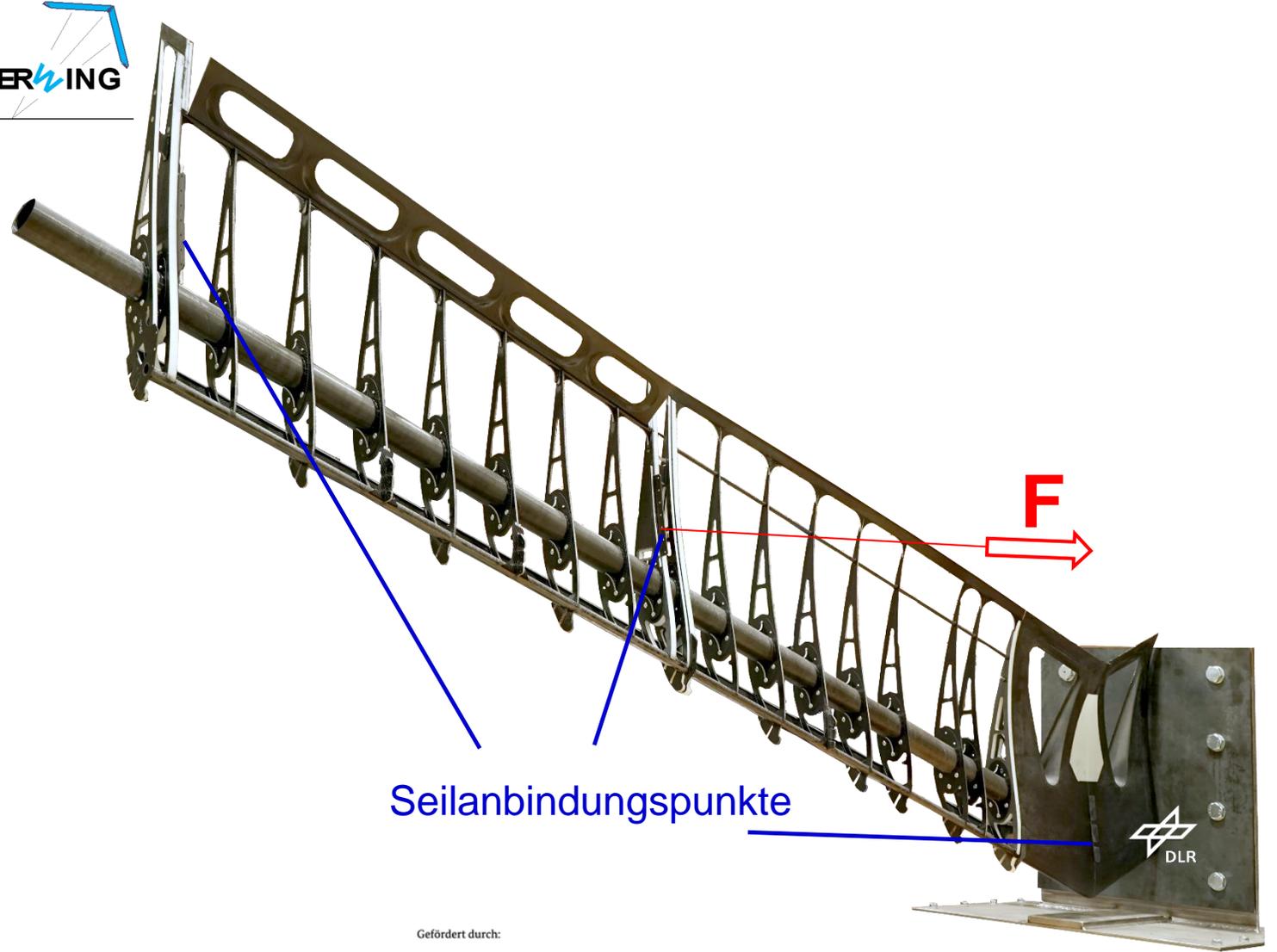
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

EnerKite



# Verbundprojekt Enerwing

- Statischer Belastungstest



Seilanbindungspunkte

Gefördert durch:



EnerKite



INVENT



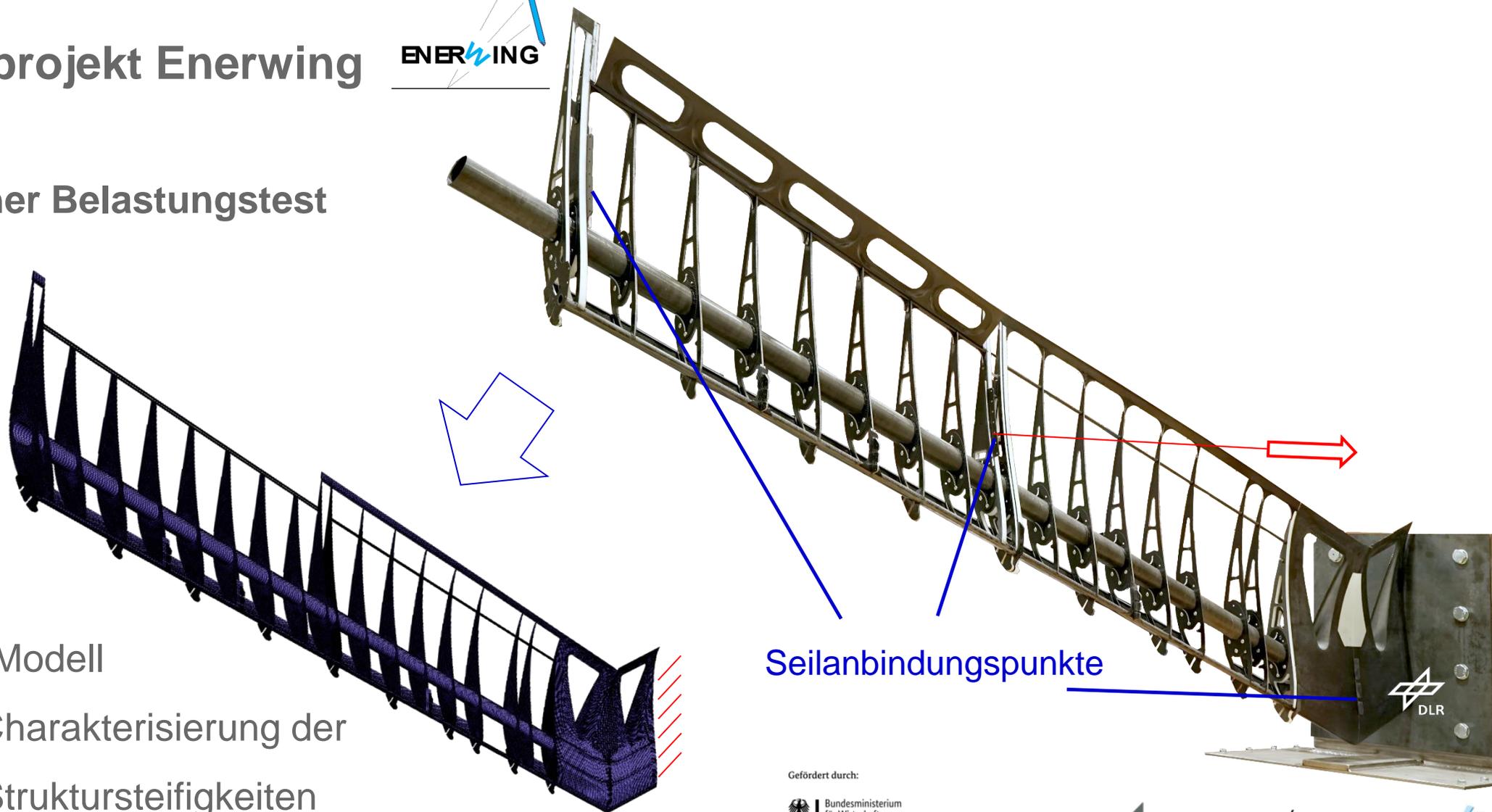
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



# Verbundprojekt Enerwing



- **Statischer Belastungstest**



FE-Modell

→ Charakterisierung der  
Struktursteifigkeiten

Seilanbindungspunkte

Gefördert durch:



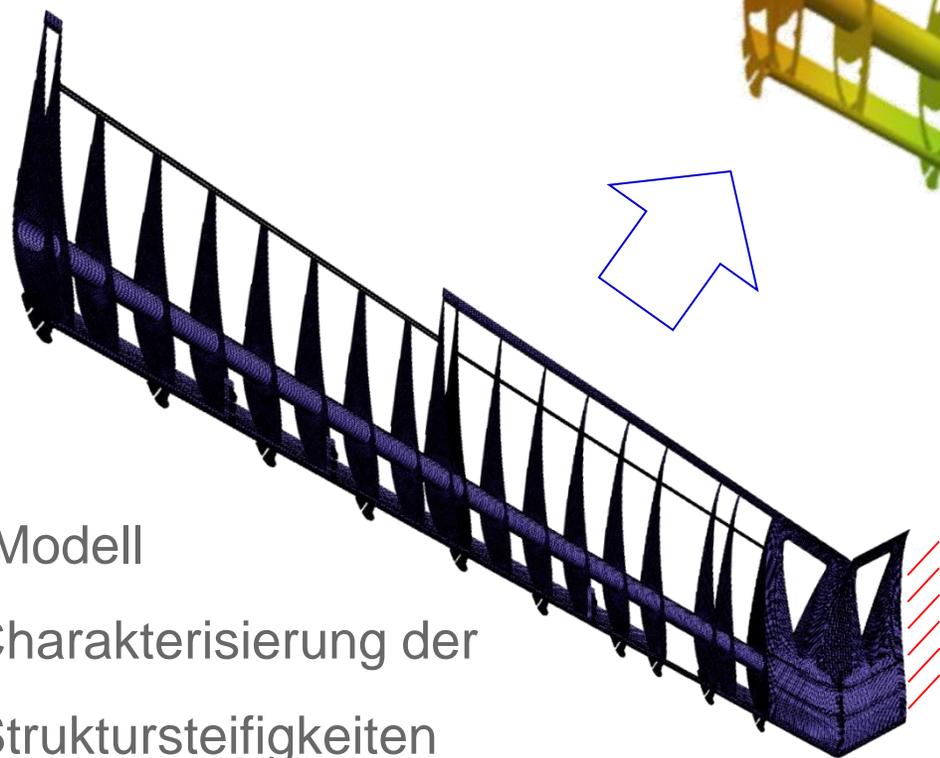
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Verbundprojekt Enerwing

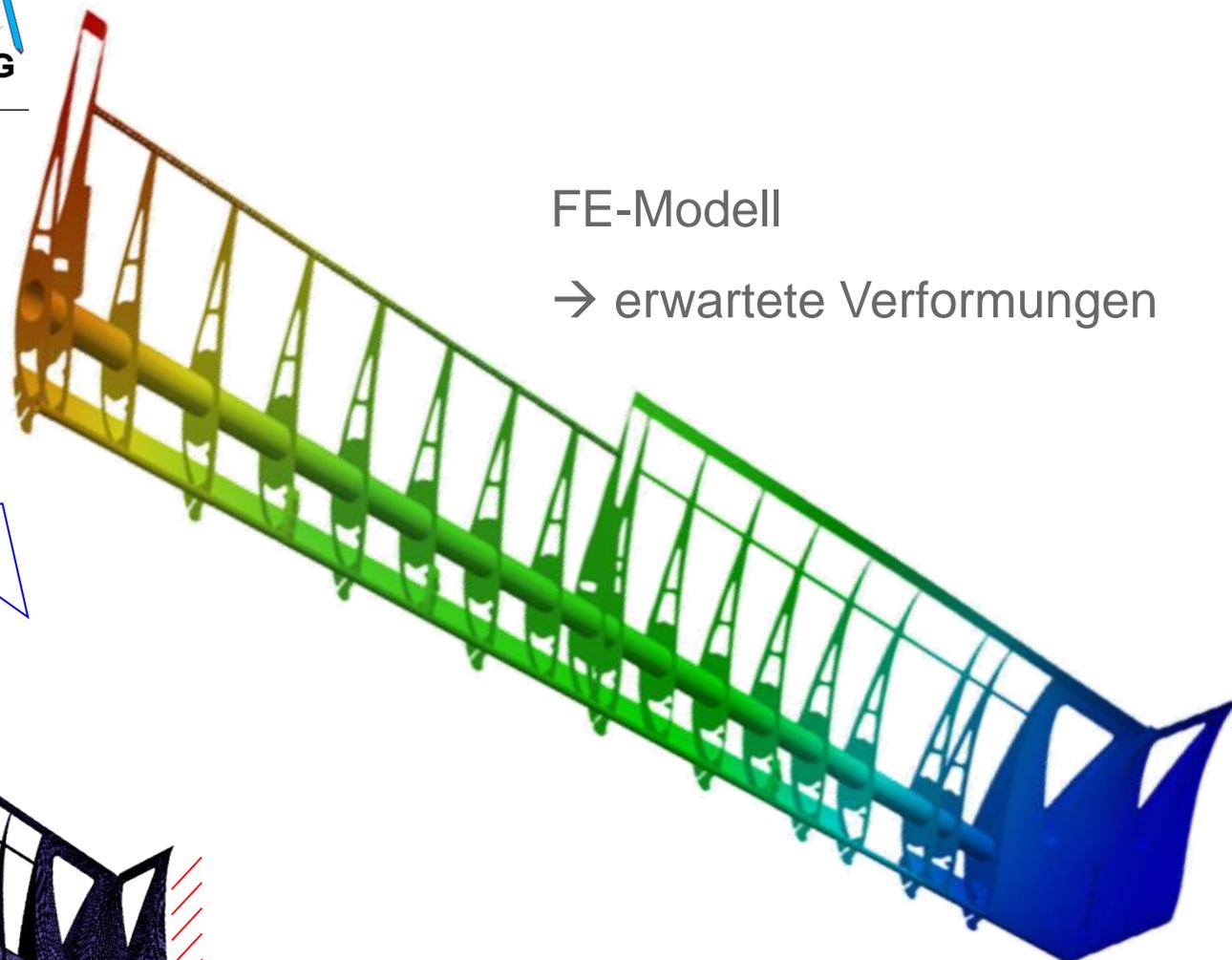


- **Statischer Belastungstest**



FE-Modell

→ Charakterisierung der  
Struktursteifigkeiten



FE-Modell

→ erwartete Verformungen



Gefördert durch:



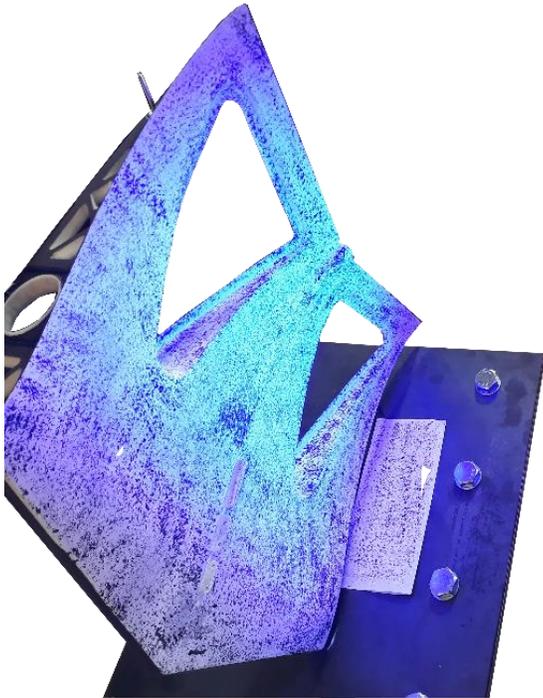
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



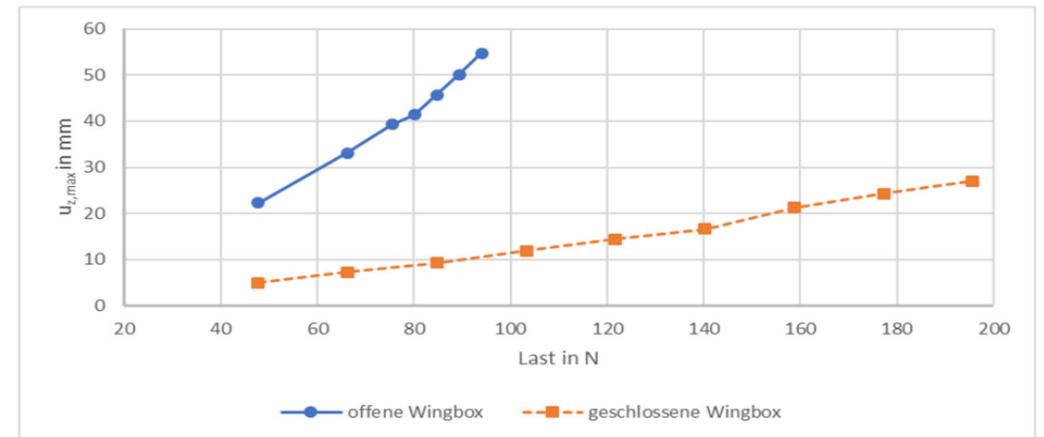
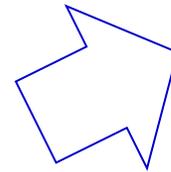
# Verbundprojekt Enerwing



## • Statischer Belastungstest



GOM ARAMIS  
Analyse



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

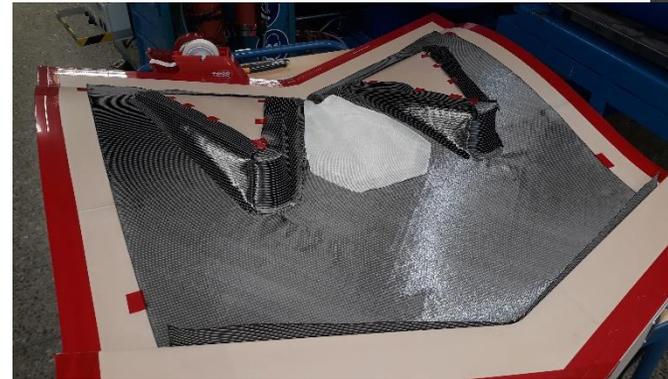
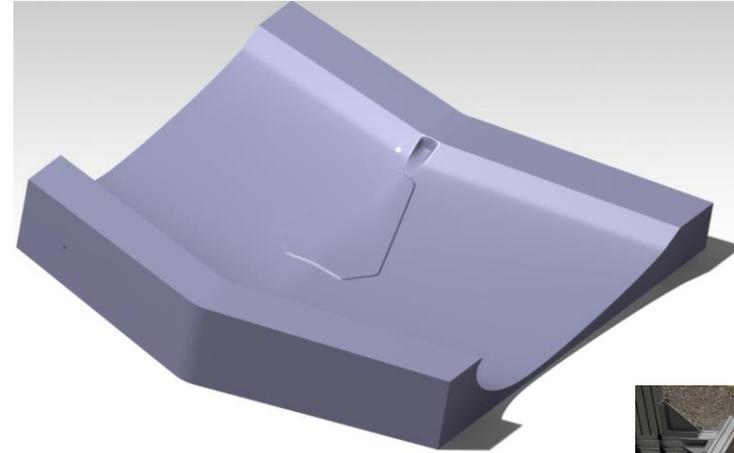
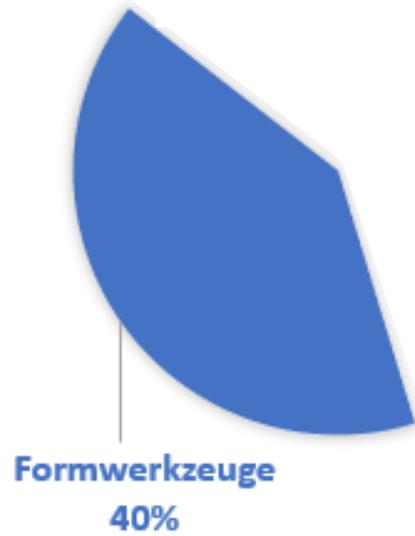
EnerKite



# Verbundprojekt Enerwing



- **Kostenübersicht**



Gefördert durch:



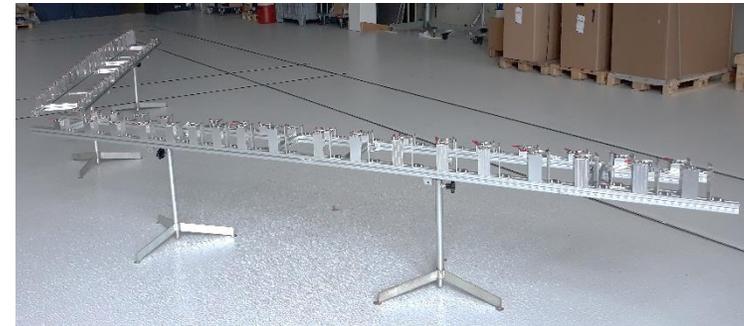
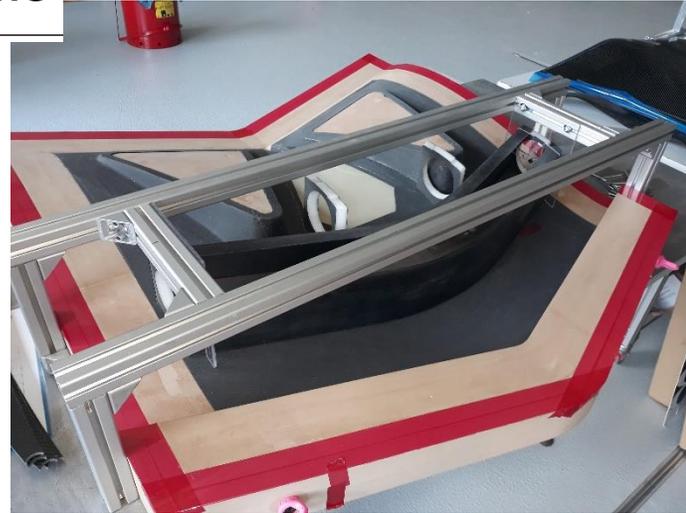
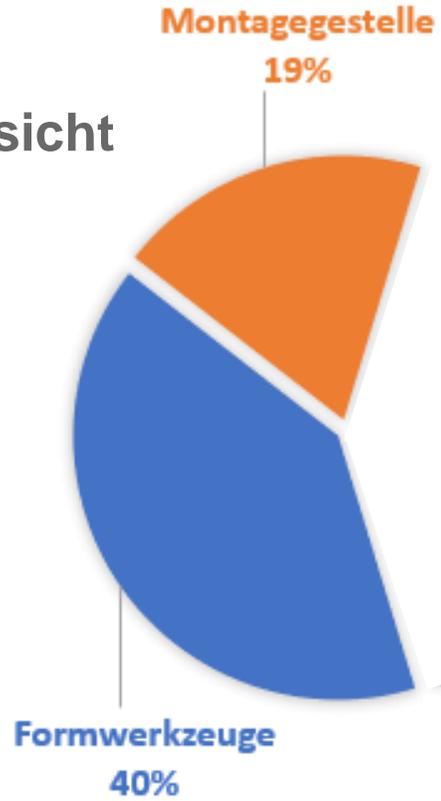
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



# Verbundprojekt Enerwing



- Kostenübersicht



Gefördert durch:



EnerKite



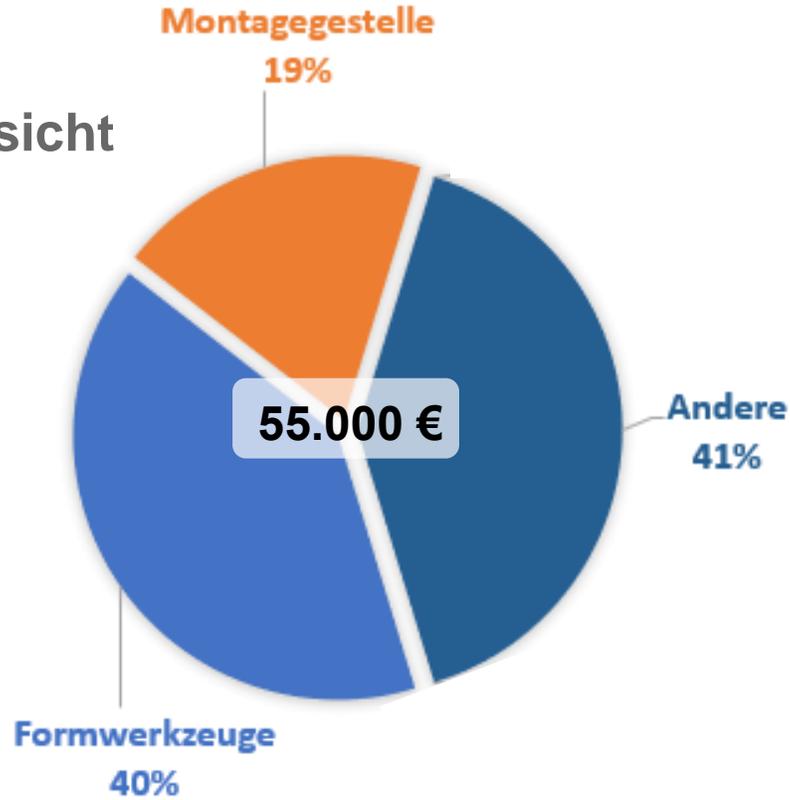
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



# Verbundprojekt Enerwing



- **Kostenübersicht**



Gefördert durch:



**EneKite**



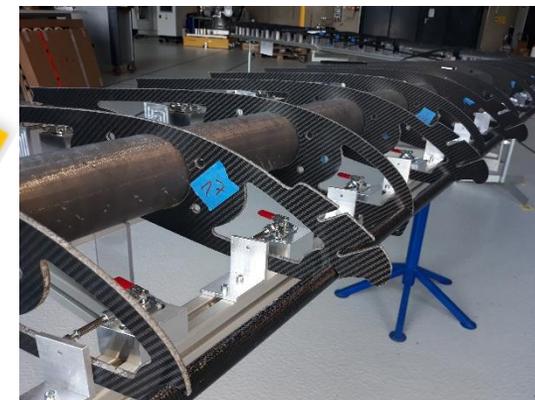
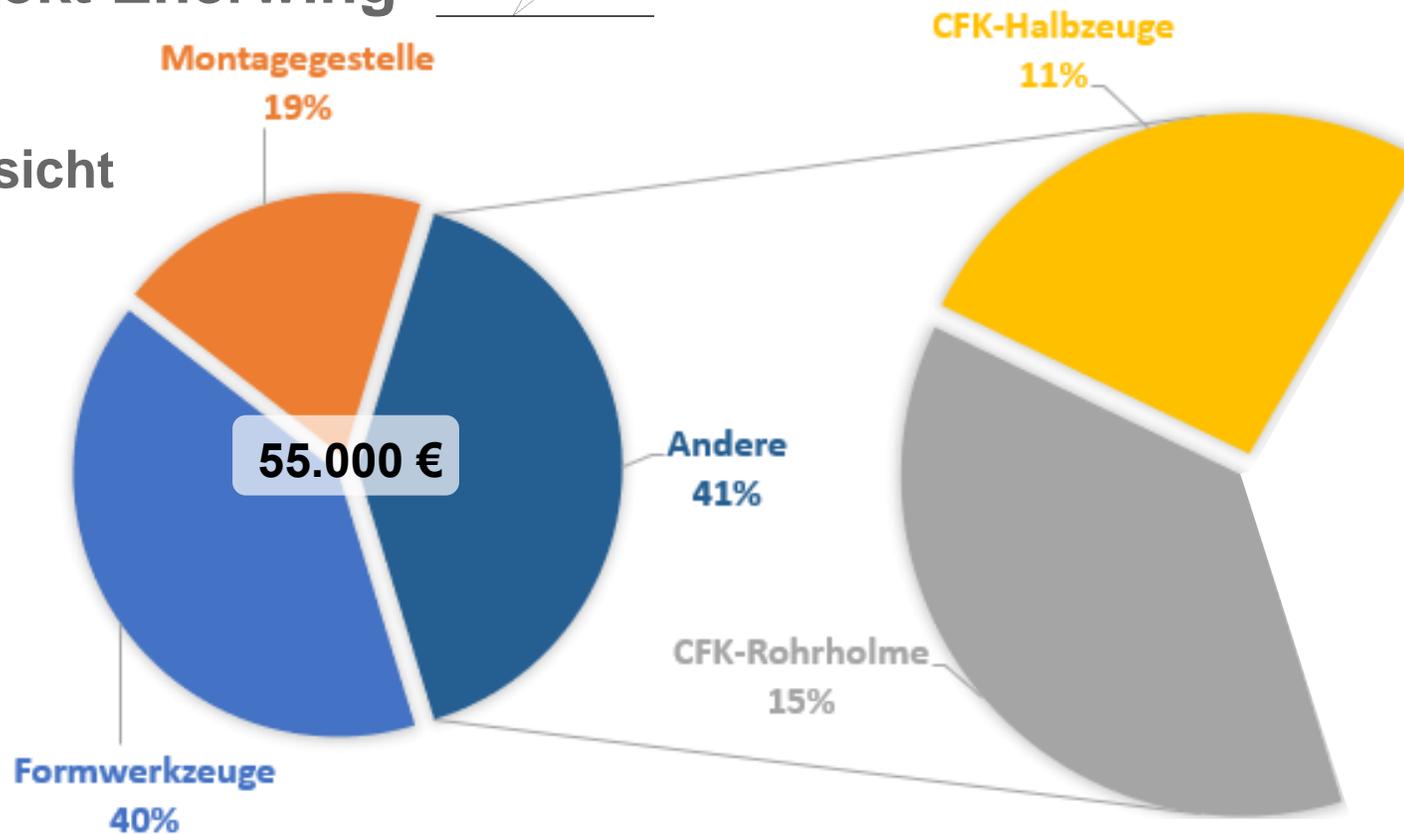
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Verbundprojekt Enerwing



- Kostenübersicht



Gefördert durch:



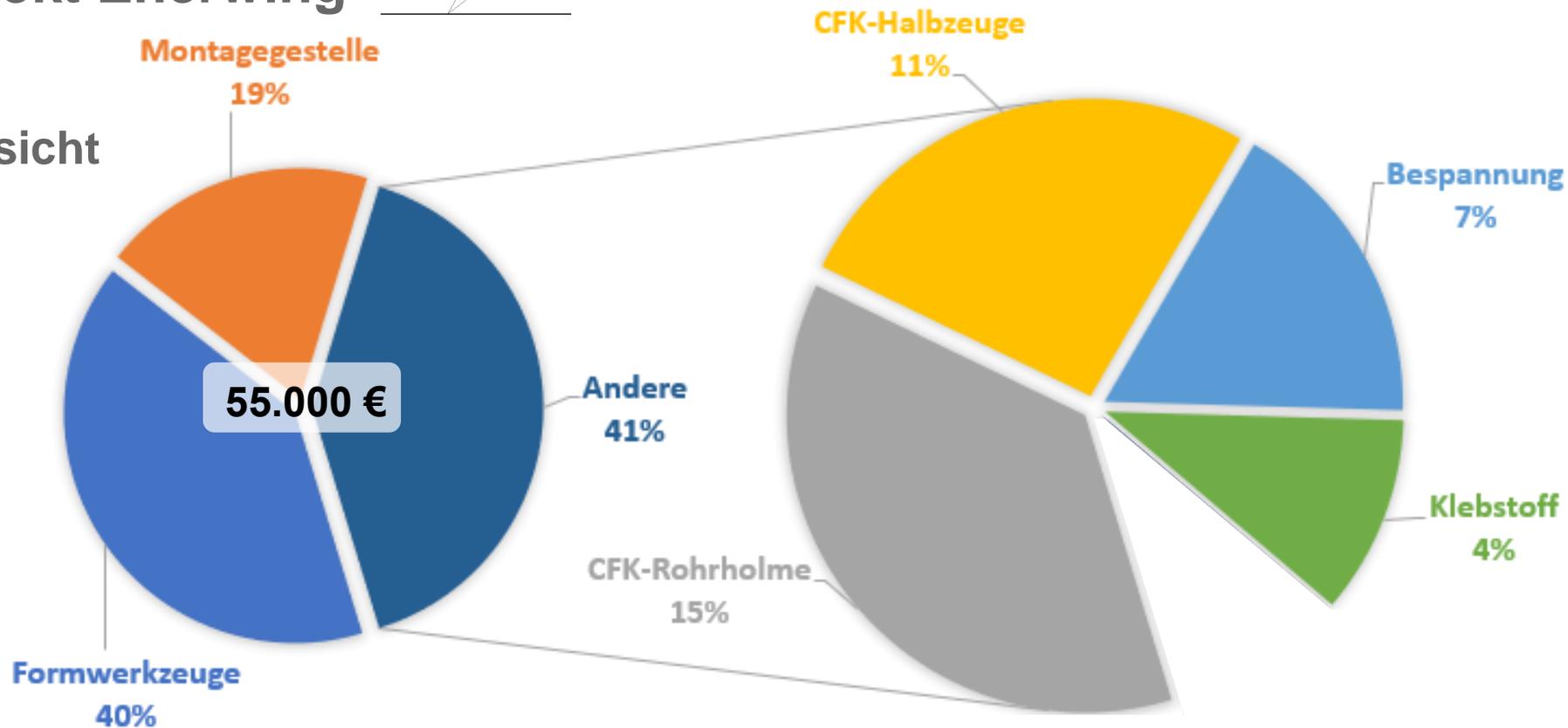
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



# Verbundprojekt Enerwing



- Kostenübersicht



Gefördert durch:



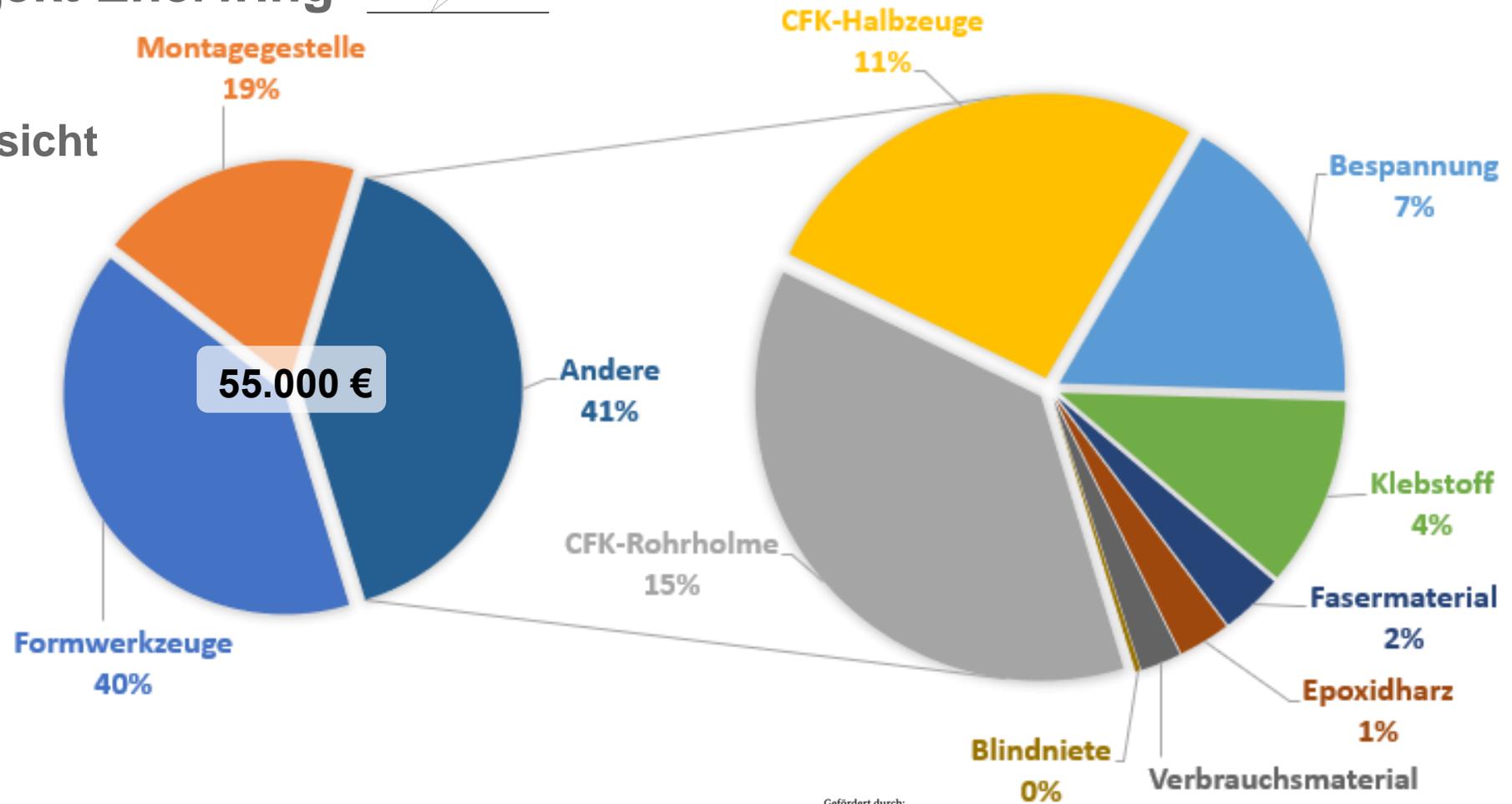
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



# Verbundprojekt Enerwing



## • Kostenübersicht



Gefördert durch:

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

EnerKite



# Ergebnisse



- 2x Wingbox



Gefördert durch:



EnerKite



INVENT

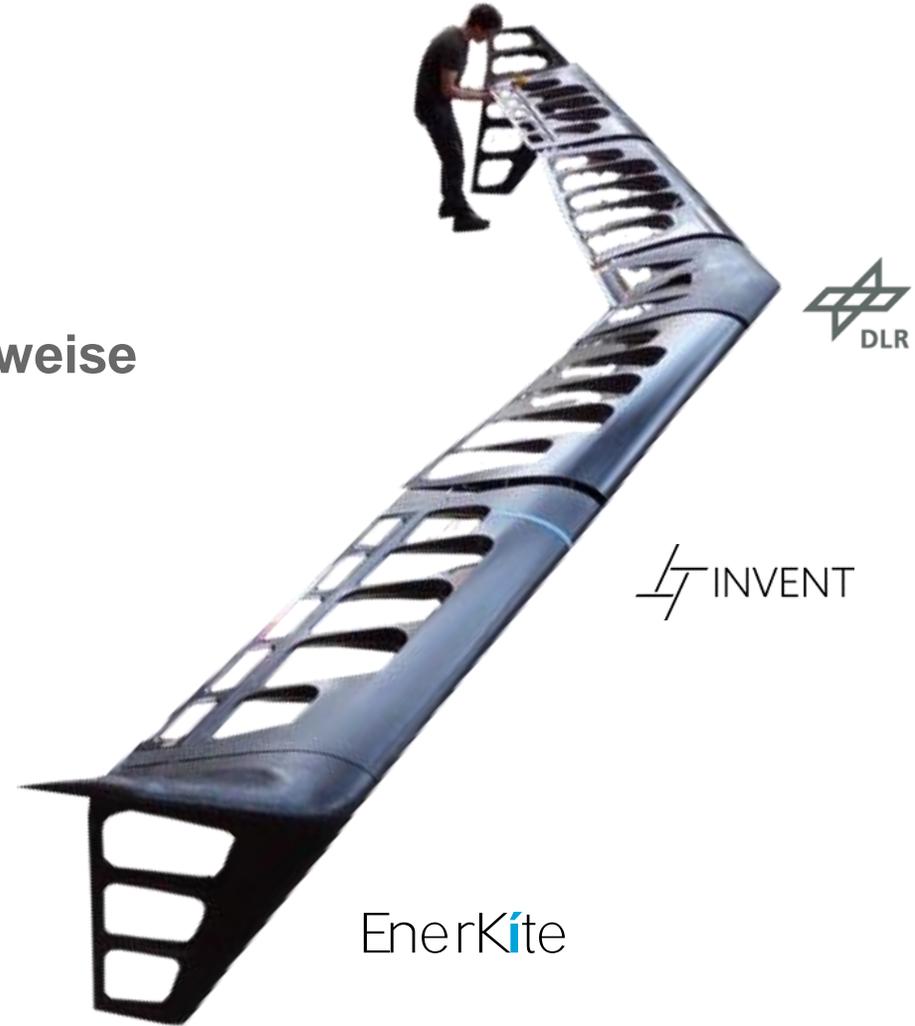


aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Ergebnisse

- 2x Wingbox
- 1x Erprobungsträger in Hohlkammer-Bauweise



EnerKite

Gefördert durch:



EnerKite



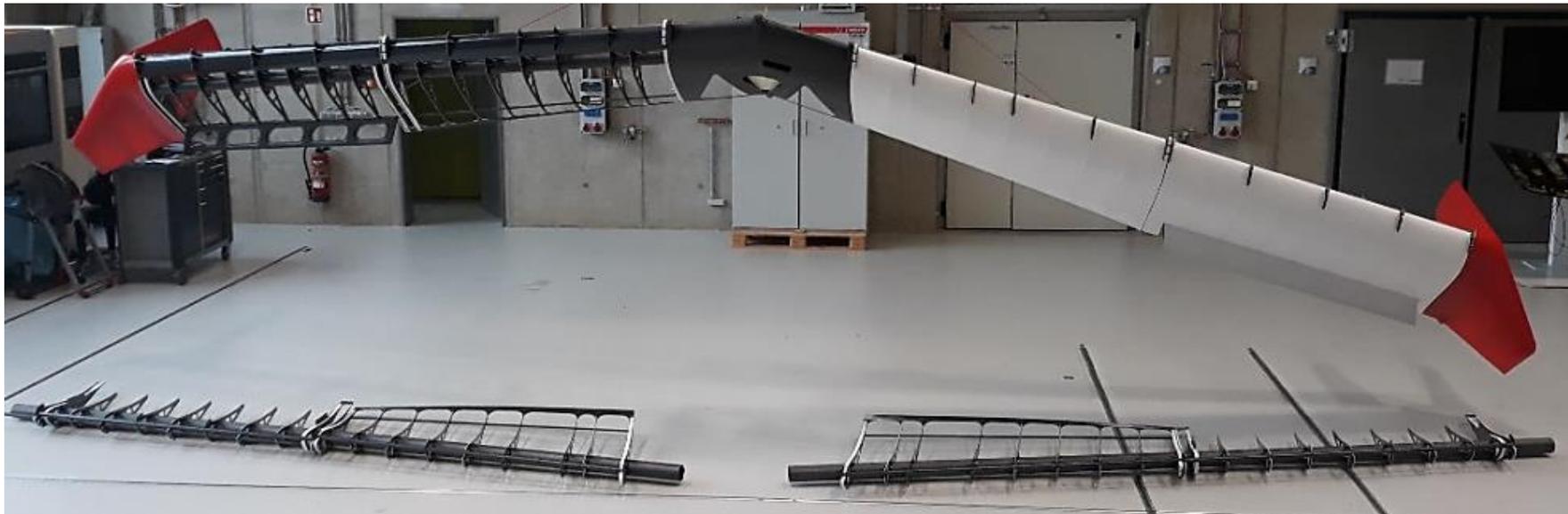
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Ergebnisse



- 2x Wingbox
- 1x Erprobungsträger in Hohlkammer-Bauweise
- **2x Erprobungsträger in Halbzeug-Bauweise**



# Ausblick

- 1. Flug Q2/2025



Gefördert durch:  
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz  
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:

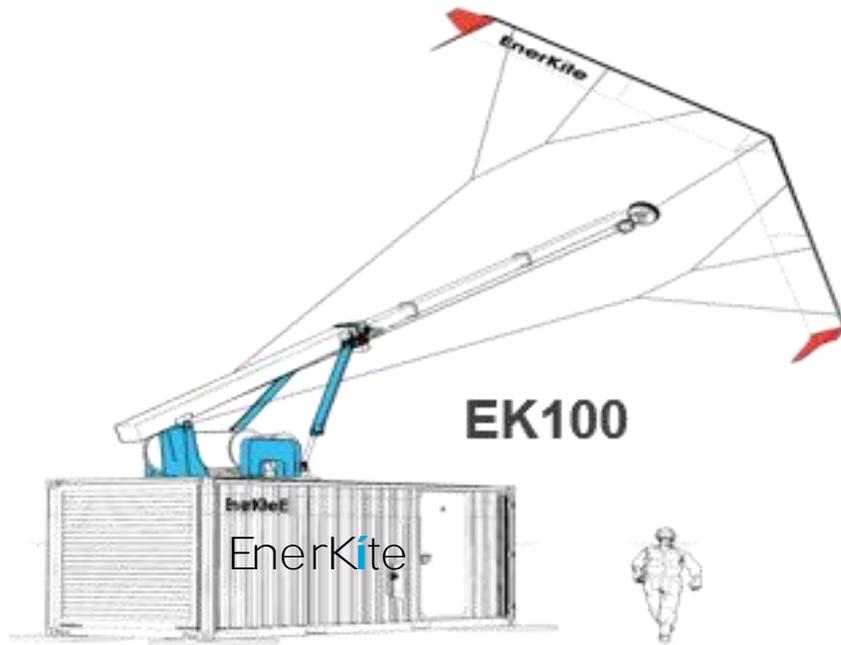


aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Ausblick

- 1. Flug Q2/2025
- Folgeprojekt „EK\_EleVate“  
→ Start: 01.07.2024



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**Ene rKite**

**IKEM**

**e.dis** *Natur*



**bachmann.**

Nennleistung	100 kW
Flügelfläche	30 m <sup>2</sup>
Energieerzeugungskosten	9 ct/kWh
Grundfläche	20 Fuß Container
Masse	12,5 t



**Vielen Dank.**



