

# SCHLEPPDROHNE

↓ Weper-Göttingen



**Nicht nur für Segelflugzeuge**

Eine Idee von Bodo Rengshausen-Fischbach und Georg E. Koppenwallner  
Im DLR durch die SKA-Messung und die Erfahrung mit den Antrieben gereift.  
Basiert auf: „On the feasibility of drone towing „ , STAB 2022

## On the feasibility of drone towing = **Schleppdrohne**

F-Schlepp = Flugzeugschlepp

= aerotow (engl.)

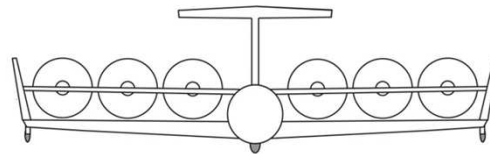
Ein Flugzeug schleppt ein  
Segelflugzeug auf Höhe.

z.B. Rans-S7 eine ASW-15 oder  
SF- 34 auf 500 m

Das Segelflugzeug klinkt aus und  
fliegt danach thermisch weiter



## On the feasibility of drone towing = **Schleppdrohne**



Typische Schleppflugzeuge: Let- Z -37A, Remoqueur, Morane, Rans S7 (Beispiel des Vortrages) unten als Zeichnung: Thema des Vortrages: Skizze Schleppdrohne

# On the feasibility of drone towing = **Schleppdrohne**

## Gliederung

- OTW = over the wing propeller
- Historie F-Schlepp
- Schleppflugzeug
- Abschätzung: ASW-15, SF-34
- SD 1 Schleppdrohne = tow-drone
- Schleppdrohne nicht nur für Segelflugzeuge
- Zusammenfassung



# On the feasibility of drone towing = **Schleppdrohne**

OTW-Schubklappe DE-10 2018 007 160    Ausgangspunkt der Messungen für die Schleppdrohne  
*einfahrbarer OTW = over-the wing propeller*

Fig. 2

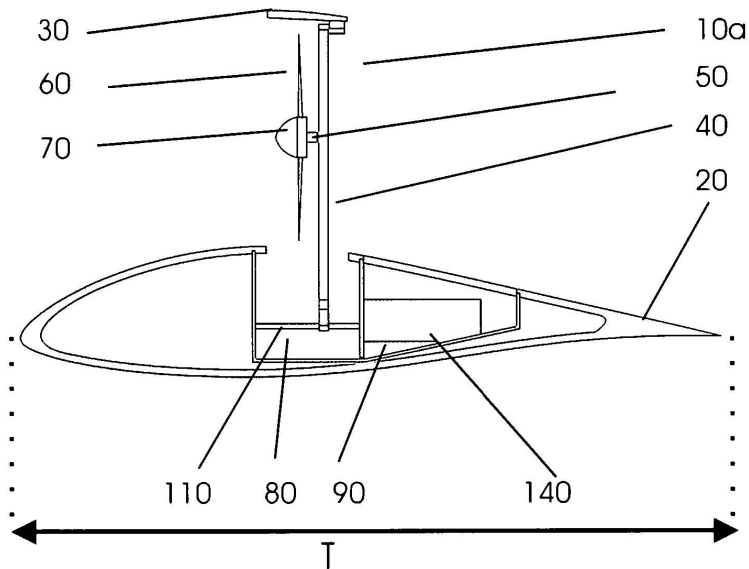
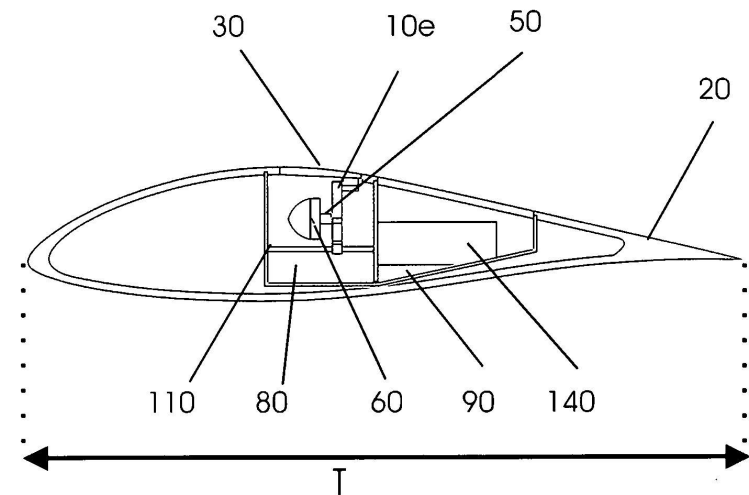


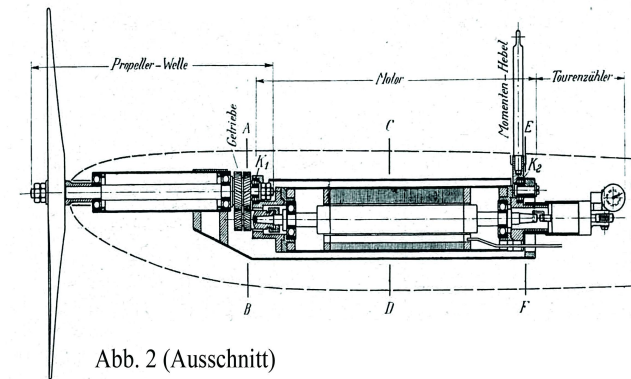
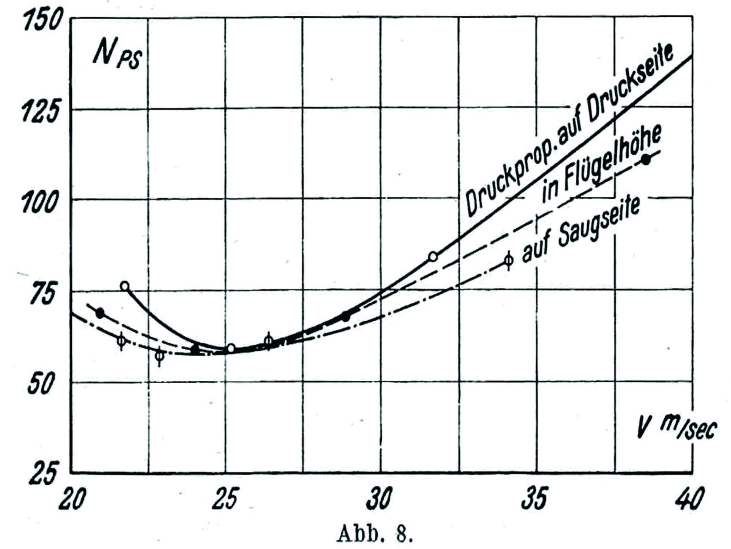
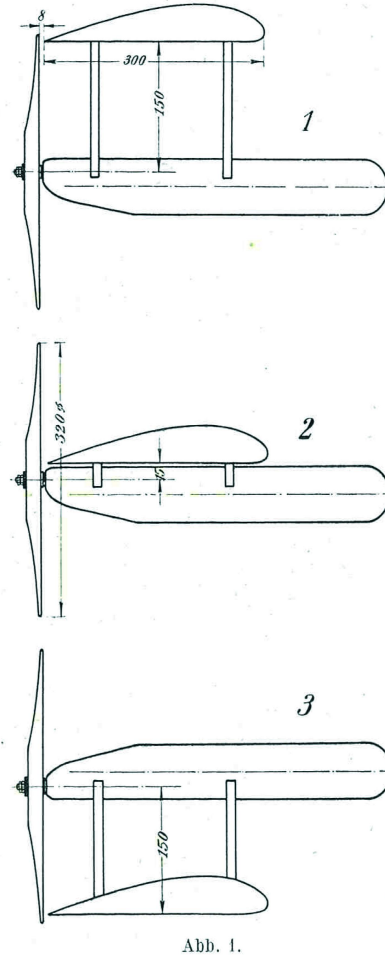
Fig. 3



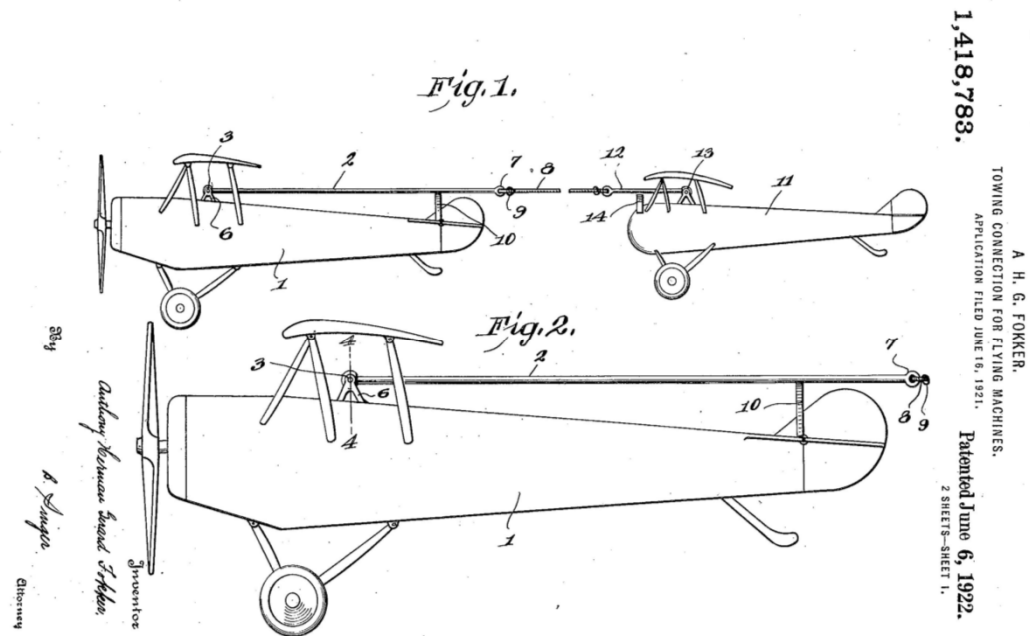
DE-10 2018 007 160

# On the feasibility of drone towing = Schleppdrohne

OTW-Prop. 1926 Seiferth



# On the feasibility of drone towing = **Schleppdrohne**



Entwicklung des F-Schlepps durch Antony Fokker (NL) , Glenn Curtiss (USA);  
Antonius Raab und Kurt Katzenstein um 1927 in Kassel Waldau

## On the feasibility of drone towing = Schleppdrohne



F-Schlepp 1941 Weper bei Göttingen – Schleppflugzeug Heinkel -72  
Standardstartverfahren (Quelle Hans Ulrich Renner, Halle, Fotoarchiv seines Vaters)



# On the feasibility of drone towing = Schleppdrohne



	Gewicht	Spannweite	Flügel- fläche	Flächen- belast.	Leistun- g	v <sub>Max</sub>	v <sub>Min</sub>	v <sub>(EMax)</sub>	E <sub>Ma</sub> x	Stand- schub	Jahr	Streck- ung
	Mass MTOW	Span	wing area	wing loading	power	v <sub>Max</sub>	v <sub>Min</sub>	v <sub>(EMax)</sub>	E <sub>Ma</sub> x	static thrust	year	aspect ratio
	kg	m	m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	PS	km/h	km/h	km/h		N		
Heinkel-72	820	9	20,7	39,61	168	194	77	-	-	-	1933	3,9
Morane	770	9,75	12,3	62,60	150	250	73	-	-	-	1959	7,7
DR 400 - Rem.	1000	8,72	14,2	70,42	180	260	87	145	9,3	-	1972	5,4
Rans-S7	559	8,92	13,67	40,89	100	190	66	<b>102</b>	<b>8,4</b>	<b>1800</b>	1985	5,8
SF-25 (Rotax)	485	16,6	17,5	27,71	100	180	60	85	20	-	1999	15,7
Schleppdrohne	<b>120</b>	<b>5,5</b>	<b>3</b>	<b>40,00</b>	<b>60</b>			<b>100</b>	<b>8,4</b>	<b>1000</b>	<b>-</b>	<b>10,1</b>

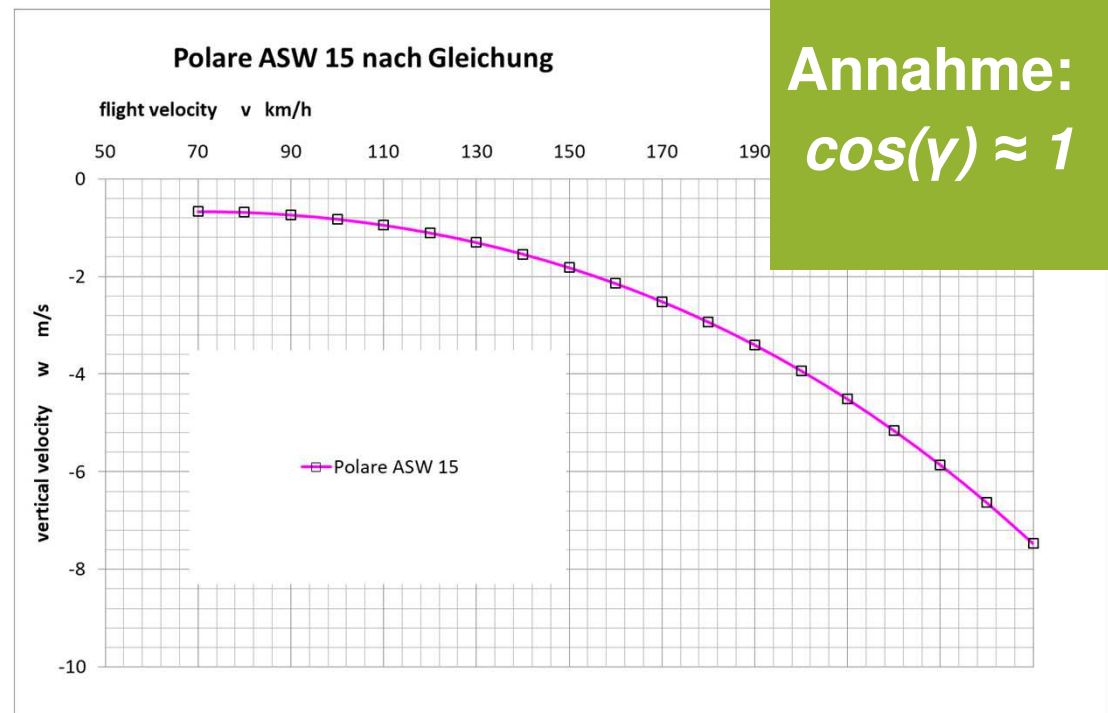
# On the feasibility of drone towing = **Schleppdrohne**

Approximation von Polen nach Reichmann (1976) und Wandinger (2011)

$$w = a_1 \cdot \frac{1}{v} + b_1 \cdot v^3$$

$$b_1 = \frac{1}{2 \cdot v_{E_{opt}}^2 \cdot E_{opt}}$$

$$a_1 = \frac{v_{E_{opt}}^2}{2 \cdot E_{opt}^2}$$



# On the feasibility of drone towing = **Schleppdrohne**

## Annahmen:

Widerstand Schleppzug =

Widerstand Schleppflugzeug + Widerstand Segler

Widerstandsbeiwert bei Horizontalflug und im Schlepp gleich

V ( bestes Gleiten) und E ( bestes Gleiten ) legen die Polare fest

# On the feasibility of drone towing = Schleppdrohne

Formel für die Steigrate eines Schleppzuges  $w$

$$L_{Steig} = m \cdot g \cdot w$$

$$L_{Schub} = F \cdot v, \quad F \cdot v = W \cdot v \quad (\text{hover} = \text{schweben})$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow L_{Steig} &= L_{Schub} - W \cdot v = m \cdot g \cdot w \\ &= L_{Schub} - (W_{SF} + W_{Segler}) \cdot v \end{aligned}$$

$$W_{Ges.} =: W_{SF} + W_{Segler}$$

$$\Rightarrow w = \frac{(F - W_{Ges.}) \cdot v}{(m_{SF} + m_{Segler}) \cdot g}$$

**Ansatz:**

**Steigleistung**

**= Schubleistung - Schwebeleistung**

# On the feasibility of drone towing = **Schleppdrohne**

## Schub als Funktion der Fluggeschwindigkeit

$$F_{SF}(v) = F_0 - \frac{(F_0 - k \cdot F_0) \cdot v}{v_{E_{opt.}}} \quad , \quad k =: \frac{F_{E_{opt.}}}{F_0}$$

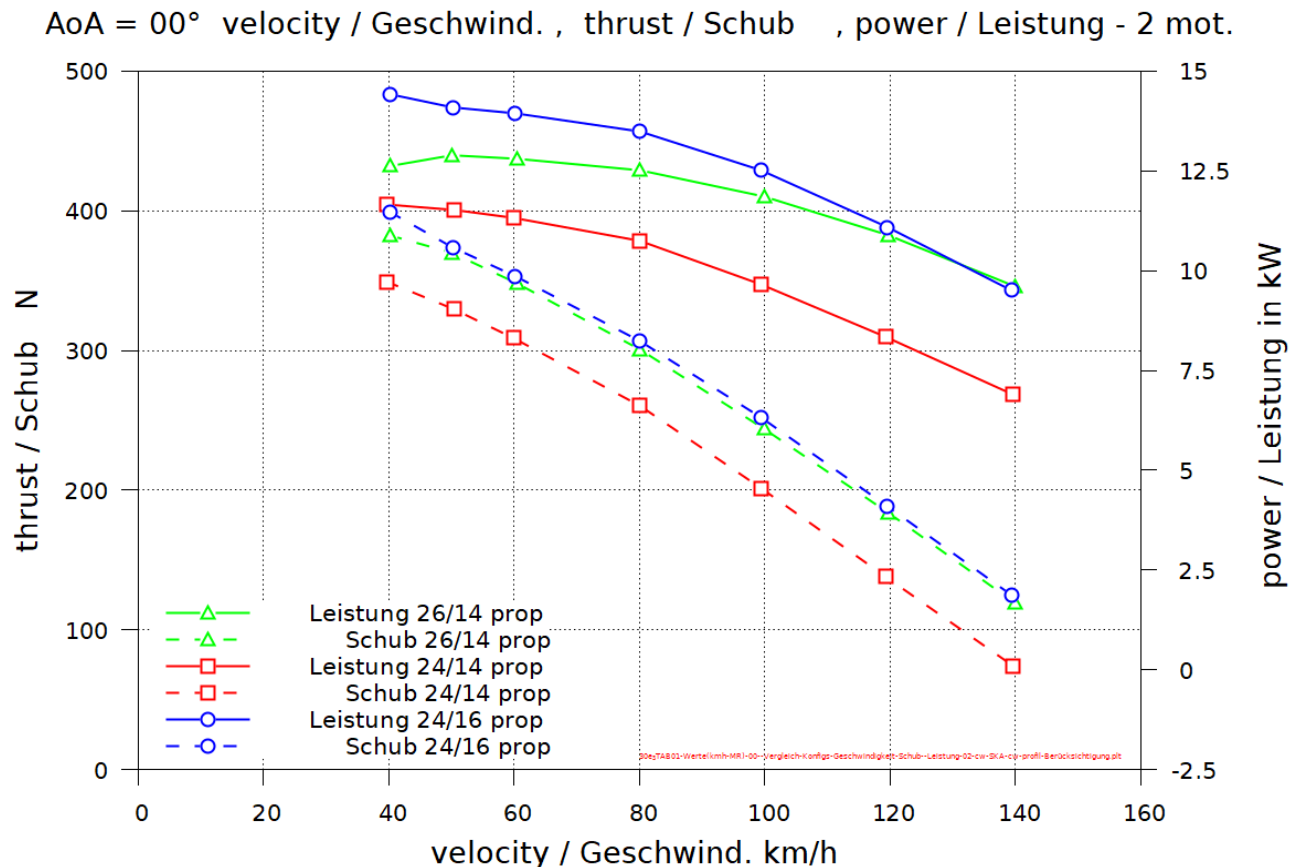
$$k_{SD} =: 0,55, \quad k_{SF} =: 0,6$$

### Ansatz:

Schub nimmt linear mit Geschwindigkeit ab.

Bei  $v(E_{opt})$  ist der Schub etwa die Hälfte des Standschubes  $F_0$

# On the feasibility of drone towing = **Schleppdrohne**

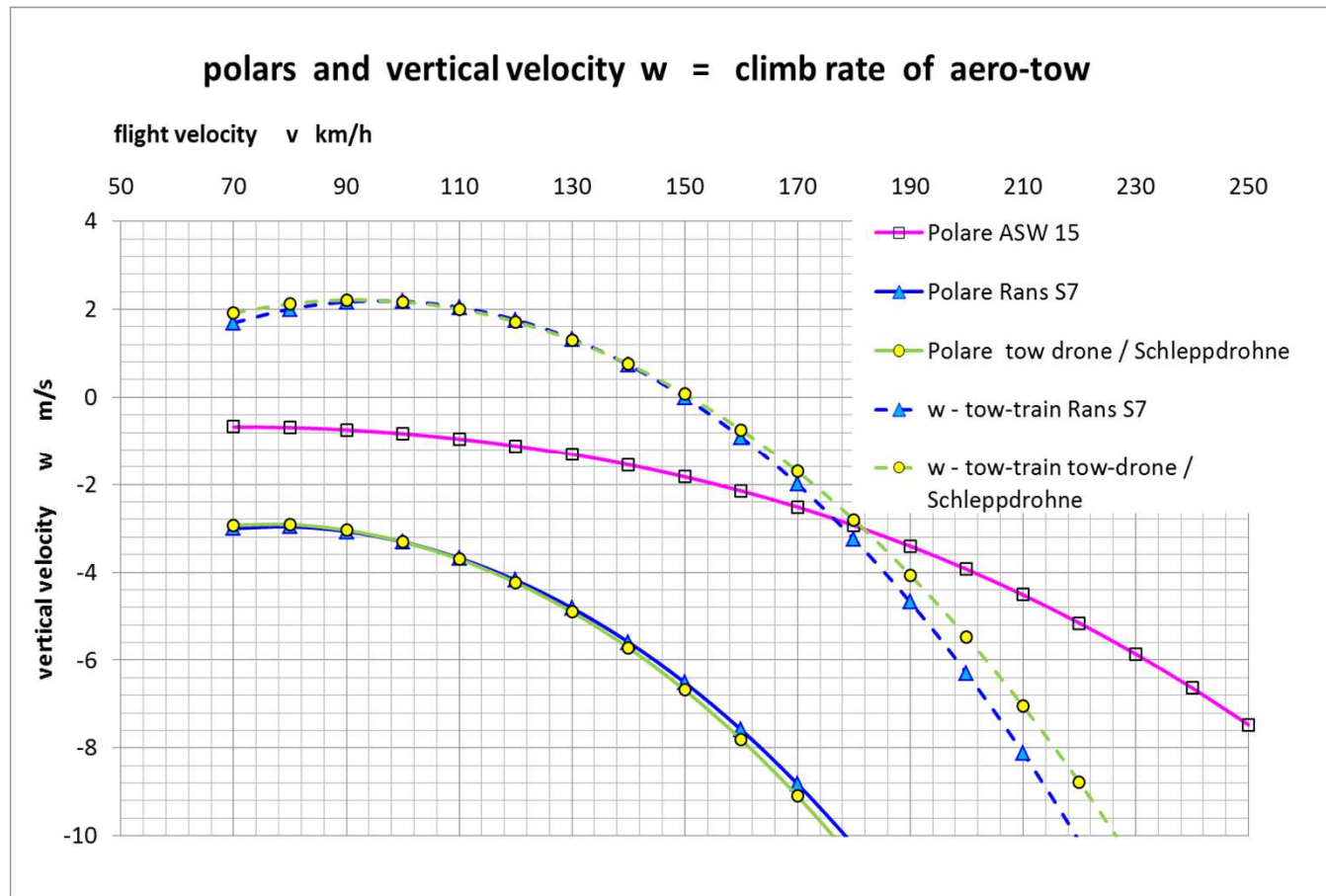


**Messung OTW:**  
Leistung und Schub über  $v$

6000 rot/min 26 ''  
6500 rot/min 24 ''

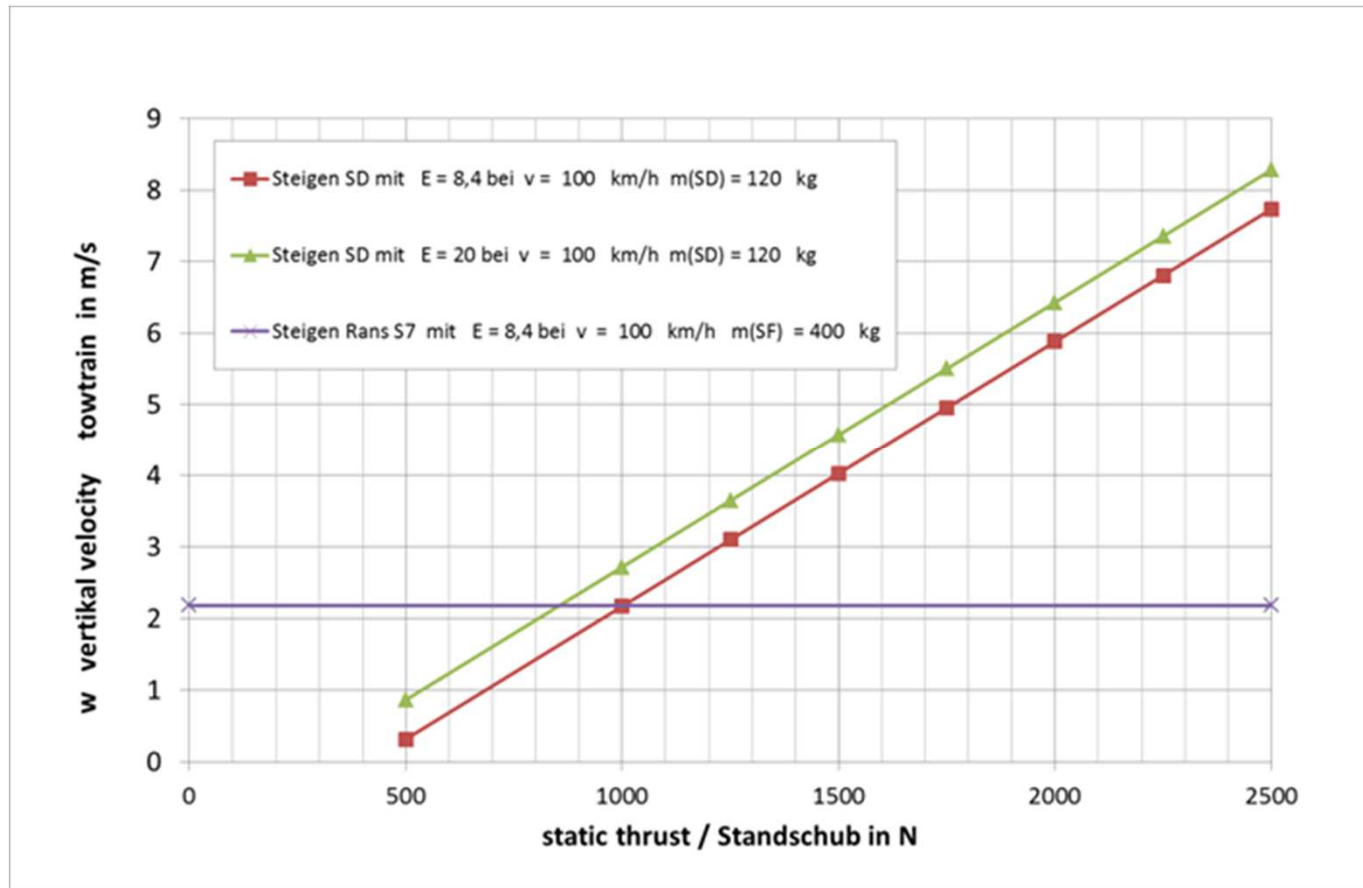
**Volle Leistung**  
13 kW mit 2 Propellern  
26 kW mit 4 Propellern

# On the feasibility of drone towing = **Schleppdrohne**



**Vergleich:**  
**Schleppflugzeug**  
 1800 N, 400kg,  
  
**Schleppdrohne**  
 1000N, 120 kg,  
**ASW-15 - Schlepp**  
  
**und**  
  
**Polaren**

# On the feasibility of drone towing = **Schleppdrohne**



Vergleich: bei 100 km/h

Mehr Schub bei der Schleppdrohne, SD, bis 2500 N, 120 kg,

Und bessere Aerodynamik der SD  
 $E_{opt} = 20$



## On the feasibility of drone towing = **Schleppdrohne**

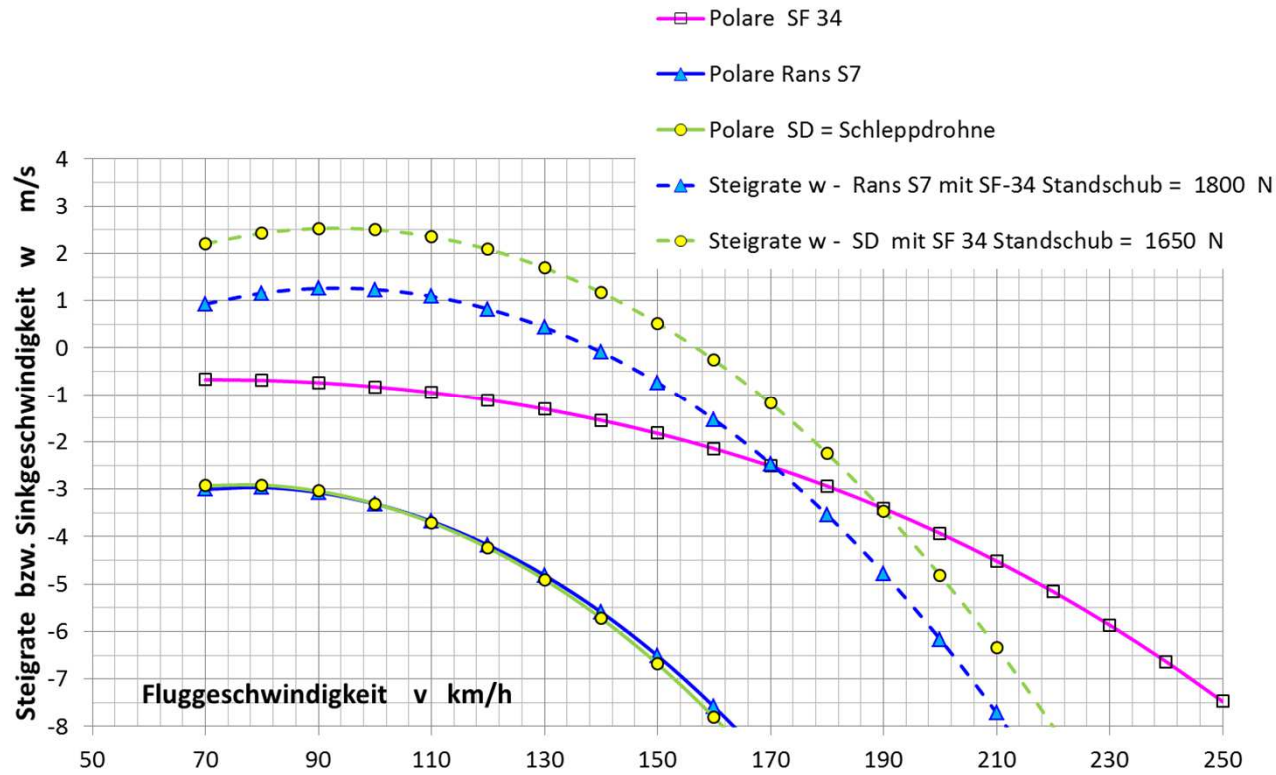


**Vergleich:  
Rans S7 schleppt**

**eine SF-34  
14,8 m<sup>2</sup> Flügelfläche**

**Zum Vergleich  
ASK-21 mit  
17,8 m<sup>2</sup> Flügelfläche**

# On the feasibility of drone towing = **Schleppdrohne**



Vergleich:

Schleppflugzeug

1800 N, 450kg,

Schleppdrohne

1650N, 150 kg,

SF-34 – Schlepp

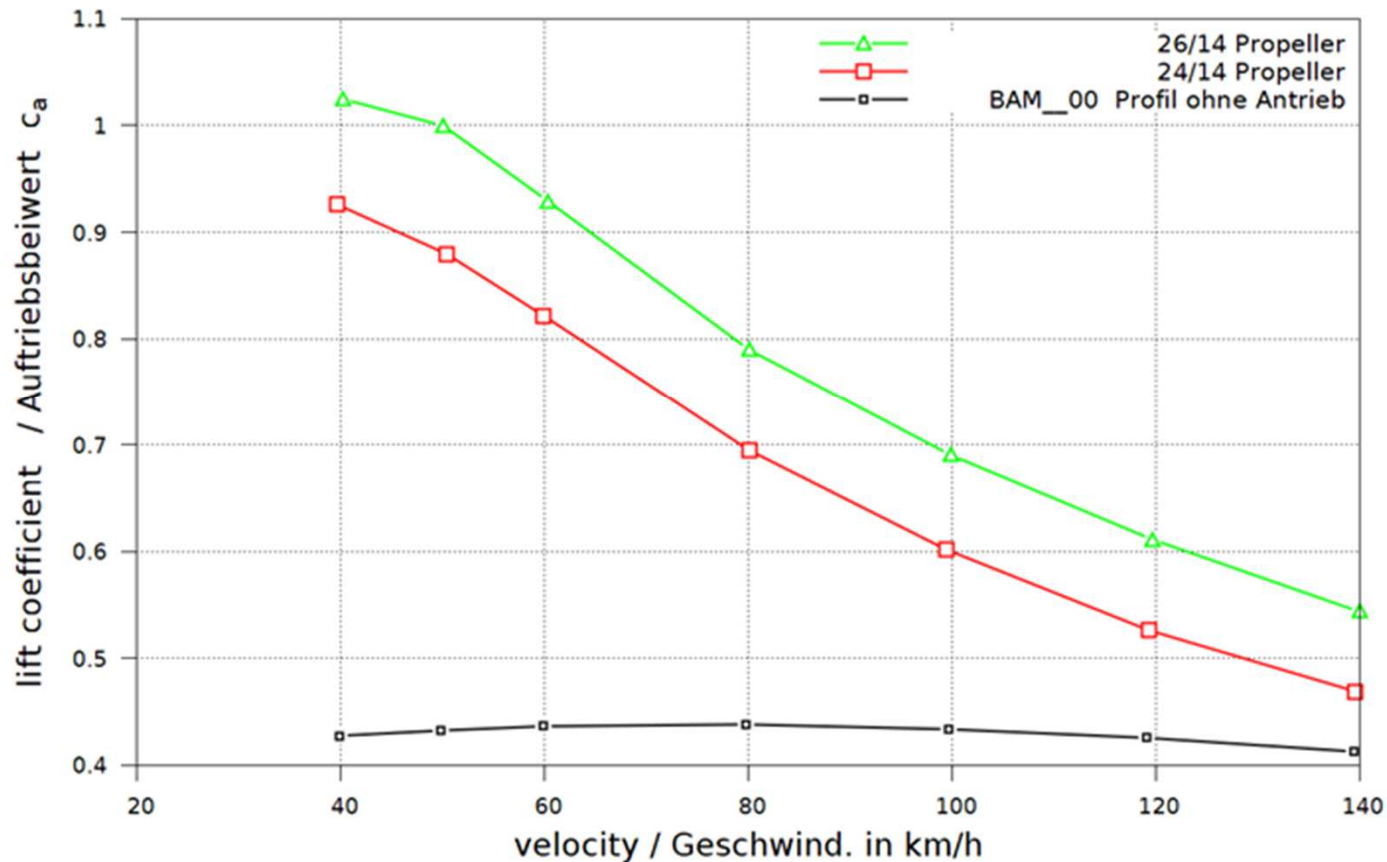
510 kg - doppelsitzig

und

Polaren

# On the feasibility of drone towing = **Schleppdrohne**

Konfig-Vergleich 00° velocity / Geschwind. und lift coefficient / Auftriebsbeiwert



OTW - Messung  
Blown wing effekt

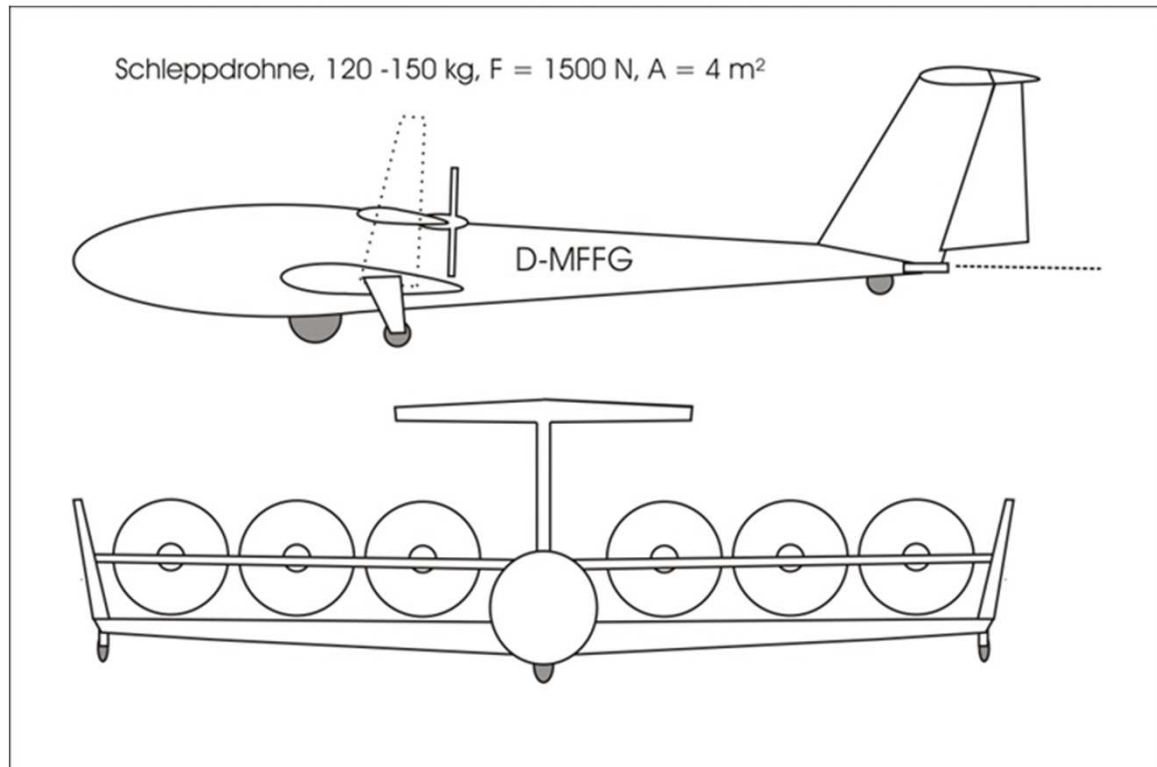
6000 rot/min 26 ''

6500 rot/min 24 ''

und herzlichen Dank  
an

Uwe Fey für die Messung

## On the feasibility of drone towing = **Schleppdrohne**



**Schleppdrohne**  
(fester OTW-Propeller)

**3 kWh** Energie pro  
Schlepp

gegenüber

4 l Benzin d.h. ca.

4\*8,5 kWh = **38 kWh**

F-Schlepp ASW 15

$$En_{SD} = L \cdot t = 26 \text{ kW} \cdot \frac{6}{60} \text{ h} = 2,6 \text{ kWh} \approx 3 \text{ kWh}$$

# Schleppdrohne SD-1



Spannweite 6 m,  
m = 150 kg,  
80 kg Batterie mit 10 kWh,  
6 Motoren: Hacker Q 150 - 4M  
Animation von Johann Kalies – DLR Schoollab Göttingen

# Schleppdrohne SD-1

Verteilte E-Antriebe  
**Over-the-wing**-Konfiguration  
Niedriges Fahrwerk

Extrem günstiges Verhältnis  
**1650 N Schub zu 150 kg Masse**

Geringe Risikoklasse  
nach SORA (Specific Operations  
Risk Assessment)



# Schleppdrohne SD-1 SORA

<https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-unmanned-aircraft-systems-regulations-eu> - S- 49

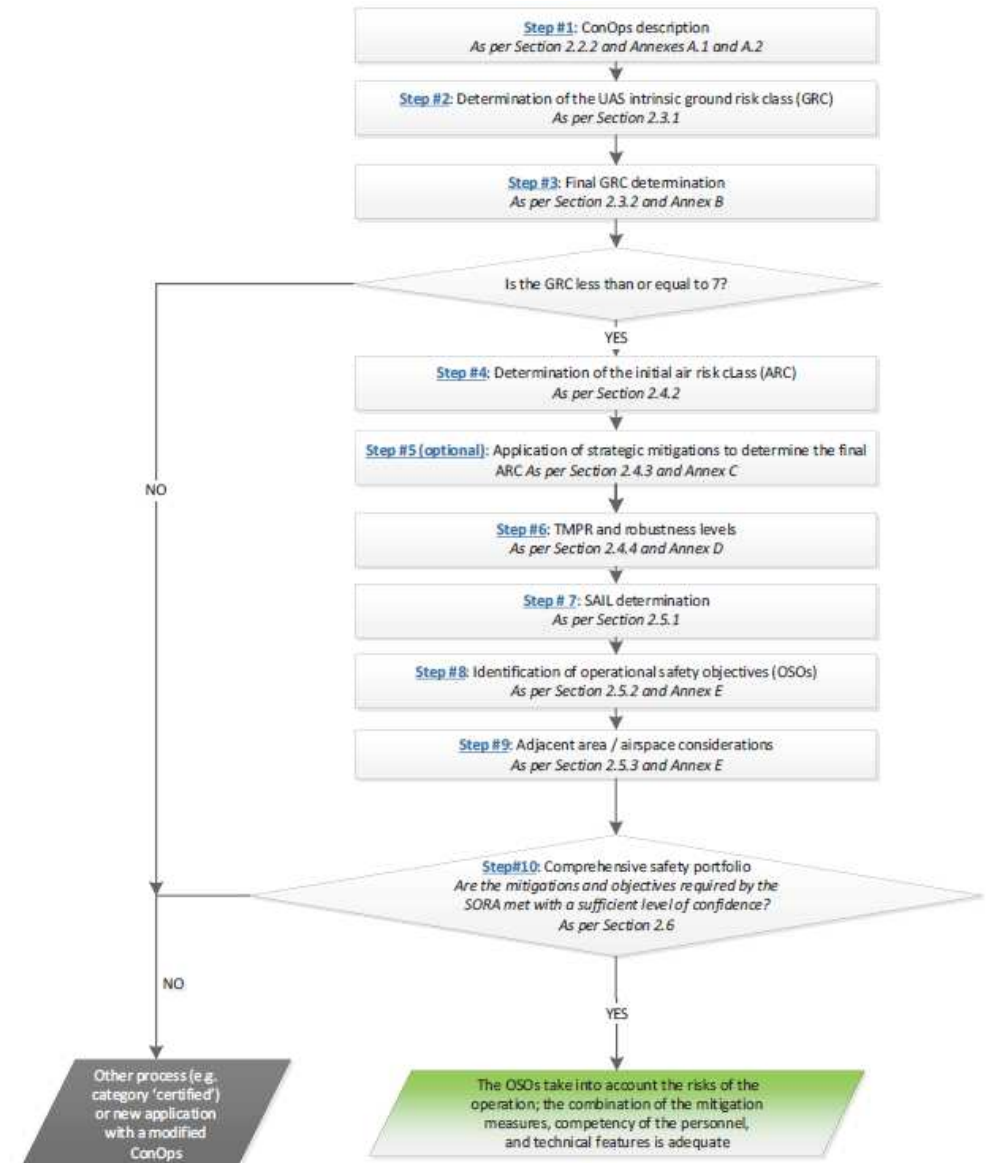
SORA  
(Specific Operations Risk Assessment)

GRC - Ground Risk Class  
ARC - Air Risk Class

SAIL  
(Specific Assurance and Integrity level)

OSO (Operational safety objective)  
**Betriebs sicherheitsziel**

Betriebsverfahren festlegen

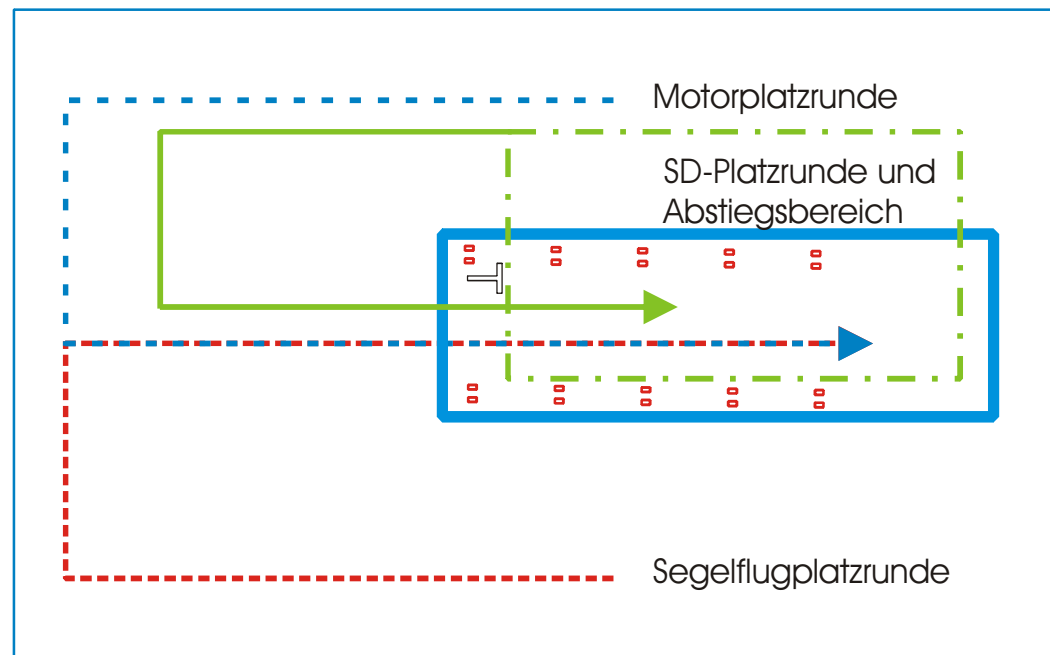


# Schleppdrohne Betriebsverfahren für SORA

Schleppdrohne sollte sich wie ein Schleppflugzeug verhalten

Betriebsverfahren mit SD-Platzrunde und SD-Abstiegsbereich

vergleichbar zum „Tabubereich“ beim Windenstart über dem Platz.





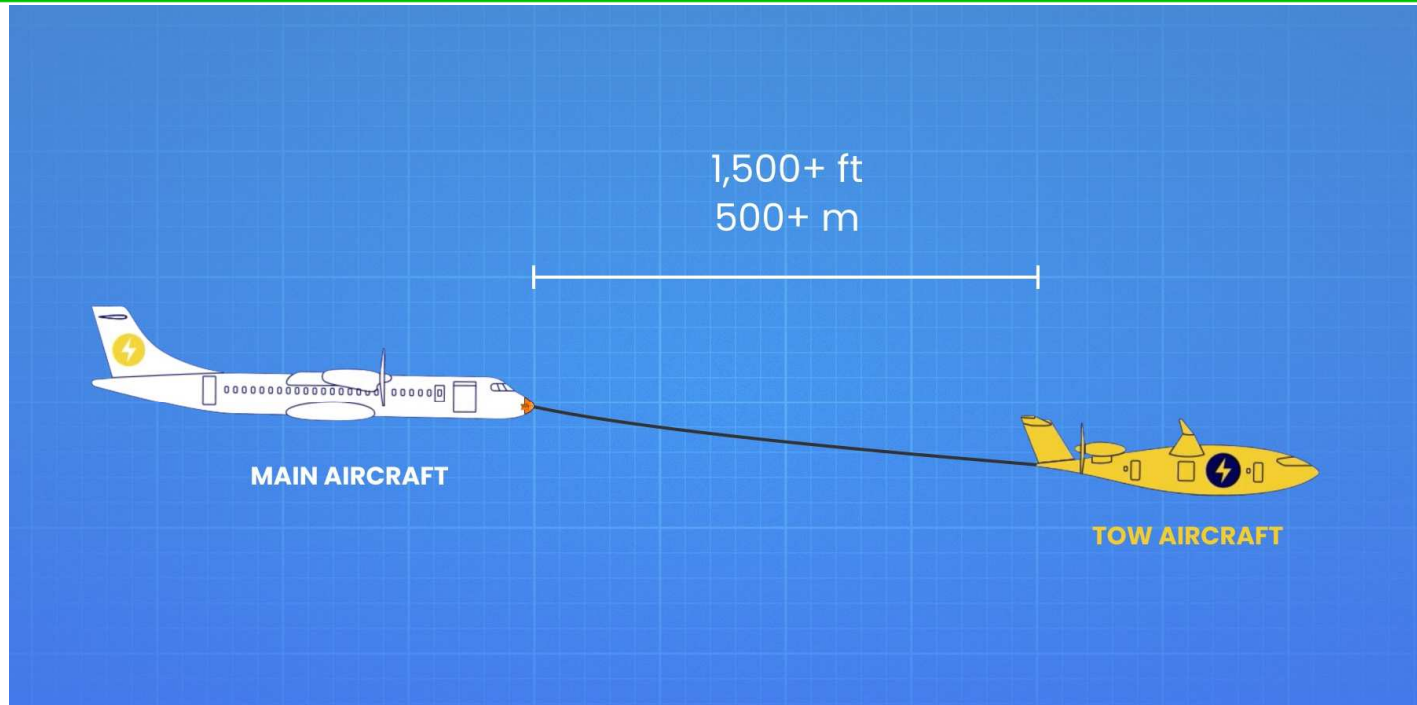
## Schleppdrohne nicht nur für Segelflugzeug 1940ger



Me 231 „Gigant“ hinter He 111 Z

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/97/Me321%2BHe111Z.jpg>

# Schleppdrohne nicht nur für Segelflugzeuge 2023



<https://www.magpieaviation.com/aerotowing/how-it-works>  
<https://www.magpieaviation.com/aerotowing/flight-tests>

# Schleppdrohne für Batterie-E-Regionalflugzeuge 2023



Tecnam P Volt, el. 9-Sitzer, Projekt mit Widerøe 2023 wegen Batterieproblemen gestoppt



# Wieviel Energie wollen wir verbrauchen ?

[www.coandajet.de](http://www.coandajet.de)

# Zusammenfassung – SD - Schleppdrohne

Ein leichter Träger von viel Schub,

- Geringe Masse, d.h. wenig Ressourcenverbrauch
- Geringer Energieverbrauch
- Große Steigrate = Sicherheit
- Wenig Hallenplatzbedarf
- Regenerative Energie Nutzung naheliegend
- OTW Propeller heißt niedriges Fahrwerk und doch geschützter Propeller
- Effizienzverbesserung durch OTW-Propeller

Vielen Dank für Ihre / Eure  
Aufmerksamkeit und Geduld

Perspektive: Neue Möglichkeiten für das batterieelektrische Fliegen