

## Schädlicher Widerstand / Parasitärer Widerstand

Widerstand ist in der Aerodynamik natürlich grundsätzlich schädlich !

Unter dem Begriff „schädlicher“ Widerstand werden alle Widerstandskräfte zusammengefasst, die nichts mit der Erzeugung von Auftrieb zu tun haben.

Schädlicher Widerstand wird nach Ursache in 4 Anteile unterteilt:

- Reibungs-Widerstand (Oberflächen-Qualität)
- Druckwiderstand / Form-Widerstand (Körper-Form)
- Kompressibilitäts-Widerstand (Schalldruckwellen)
- Interferenz-Widerstand (gegenseitige Beeinflussung)

Ch. Decking, Januar 2010

# Aerodynamischer Grenzbereich: Langsamflug

## Widerstands – Formel

Was beeinflusst die Widerstandskraft eines Körpers?

- ✓ Fluggeschwindigkeit
- ✓ Formgebung, Oberfläche
- ✓ Querschnittsfläche
- ✓ Luftdichte

$$F_W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_W \cdot A$$

Widerstandskraft

Luftdichte

Fluggeschwindigkeit

Widerstandskoeffizient (Form, Oberfläche)

Querschnittsfläche

Ch. Decking, Januar 2010

## Widerstands – Formel

$$F_W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_W \cdot A_R$$

Im Geradeausflug ohne Änderung der Flaps-Stellung kann Widerstands-Formel reduziert werden

$$F_W \cong V^2 \cdot C_W$$

$$F_W \cong \text{Geschw.}^2 \cdot \text{Widerstandskoeff}$$

➤ Der Widerstand ändert sich **quadratisch** zur Fluggeschwindigkeit

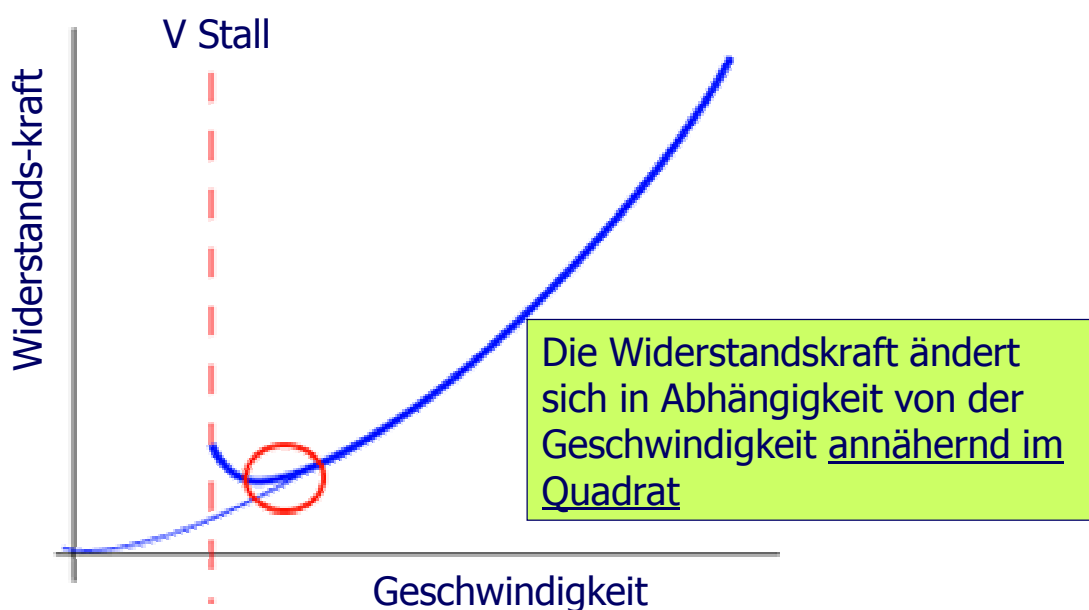
➤ Der Auftrieb ändert sich proportional zum Widerstands-Koeffizient  $C_W$

*Form, Oberfläche*

Ch. Decking, Januar 2010

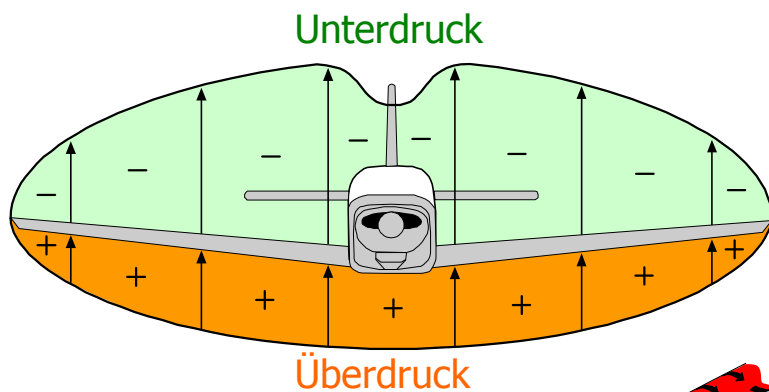
# Aerodynamischer Grenzbereich: Langsamflug

## Verlauf des schädlichen Widerstandes mit zunehmender Geschwindigkeit



Ch. Decking, Januar 2010

## Auftriebserzeugung und induzierte Strömung

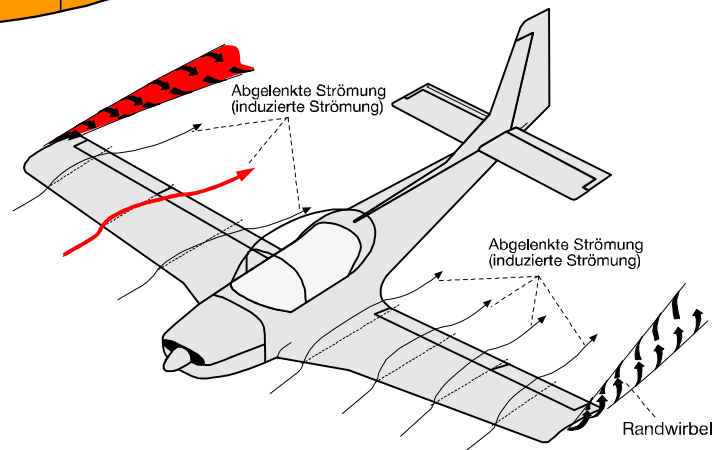


Druckdifferenz bewirkt (induziert) an Flügelenden eine Umströmung

→ Es entstehen die Randwirbelzöpfe

**Induzierter Widerstand**

- Randwirbel
- induzierte Strömung



Ch. Decking, Januar 2010

## Induzierter Widerstand

Die induzierten Randwirbel-Schleppen verursachen einen Widerstand, den „Induzierten Widerstand“

➤ Der Induzierte Widerstand ist eine direkte Folge der aerodynamischen Erzeugung von Auftrieb

Die Stärke der entstehenden Randwirbel ist vom Druckunterschied zwischen Flügeloberseite und Unterseite abhängig.

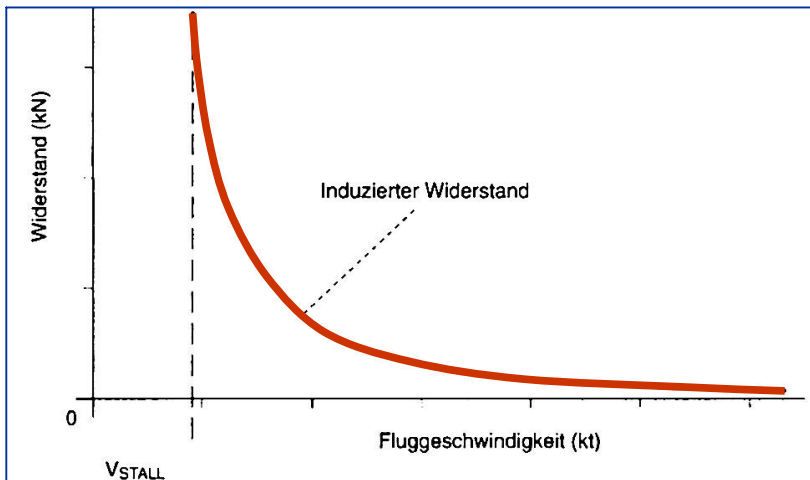
➤ Je grösser der Anstellwinkel, desto grösser der Induzierte Widerstand!

Ch. Decking, Januar 2010

## Abhängigkeit des Induzierten Widerstandes von der Fluggeschwindigkeit

➔ Fluggeschwindigkeit hat grössten Einfluss auf Induzierten Widerstand

➤ Mit abnehmender Fluggeschwindigkeit TAS nimmt der Induzierte Widerstand im Quadrat zu



Beispiel:

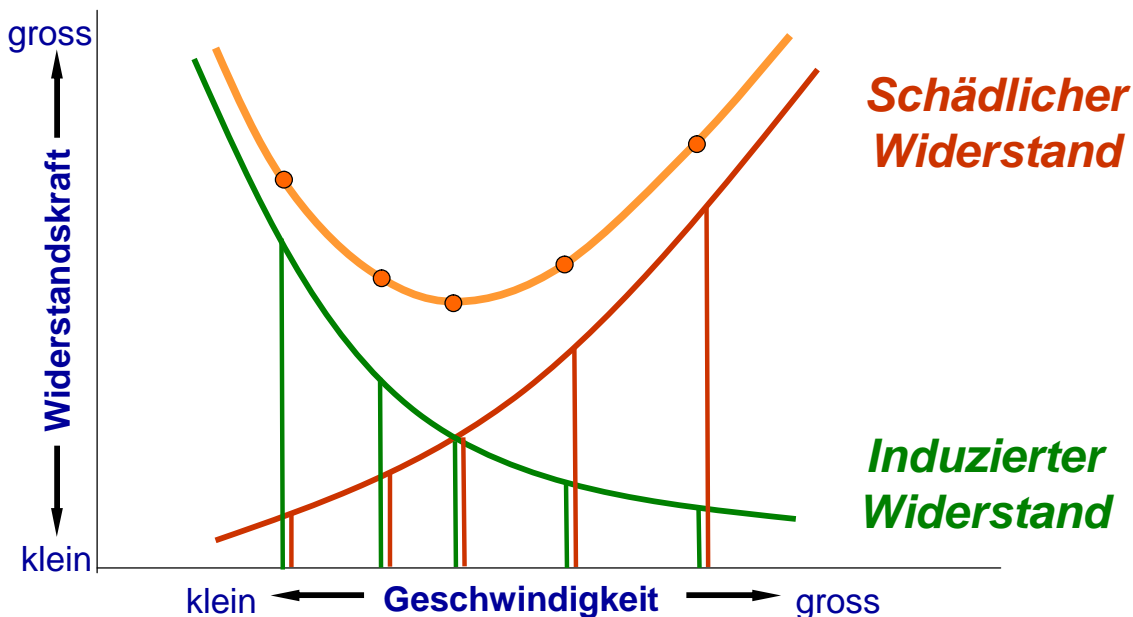
Flugzeug fliegt mit 120 kt.  
Die Geschwindigkeit wird reduziert auf 60 kt.  
Wieviel wächst der Induzierte Widerstand ?

**4-fach grösser**

Ch. Decking, Januar 2010

## Gesamtwiderstand als Summe von Induziertem + Schädlichem Widerstand

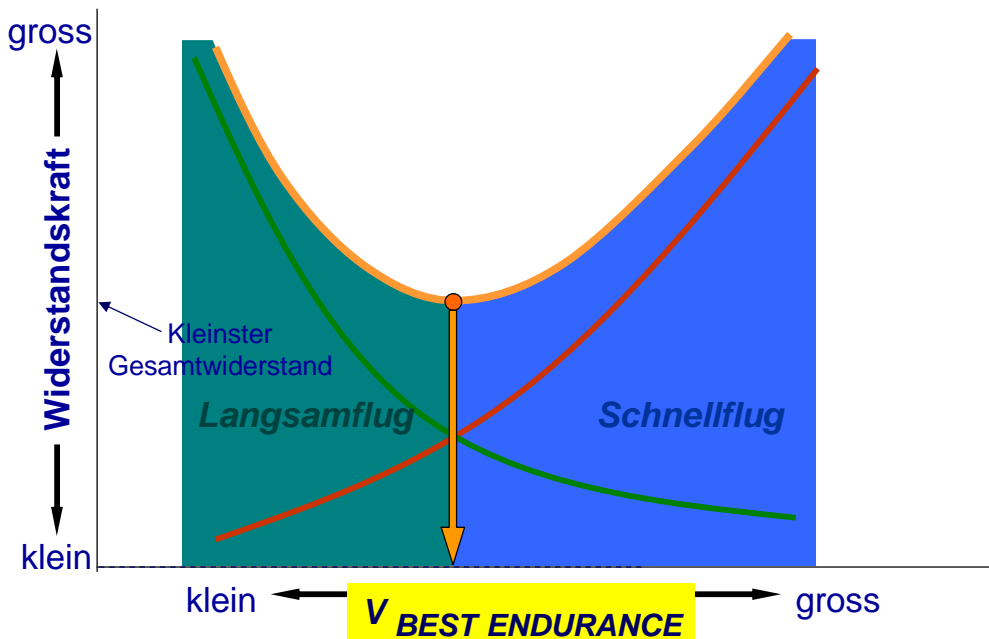
Gesamtwiderstand = Induzierter Widerstand + Schädlicher Widerstand



Ch. Decking, Januar 2010

## Gesamtwiderstand als Summe von Induziertem + Schädlichem Widerstand

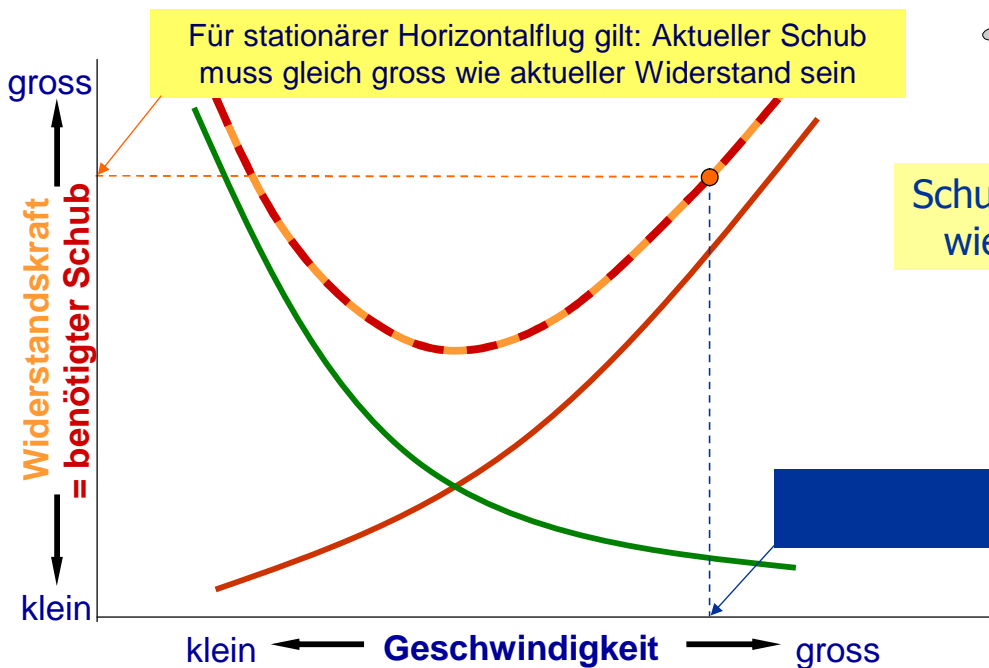
Wo ist die Stelle des kleinsten Gesamtwiderstandes?



Ch. Decking, Januar 2010

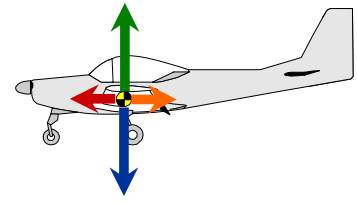
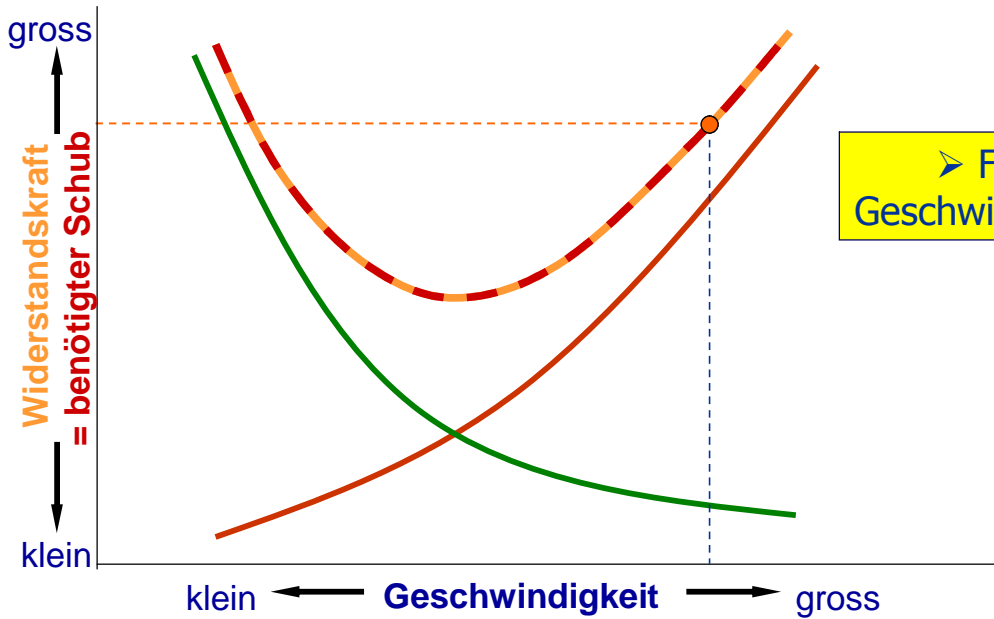
# Aerodynamischer Grenzbereich: Langsamflug

## Gleichgewicht der Kräfte im stationären Horizontalflug



Ch. Decking, Januar 2010

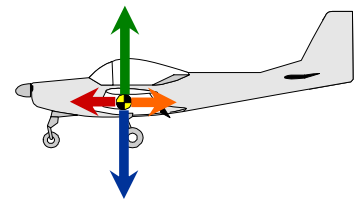
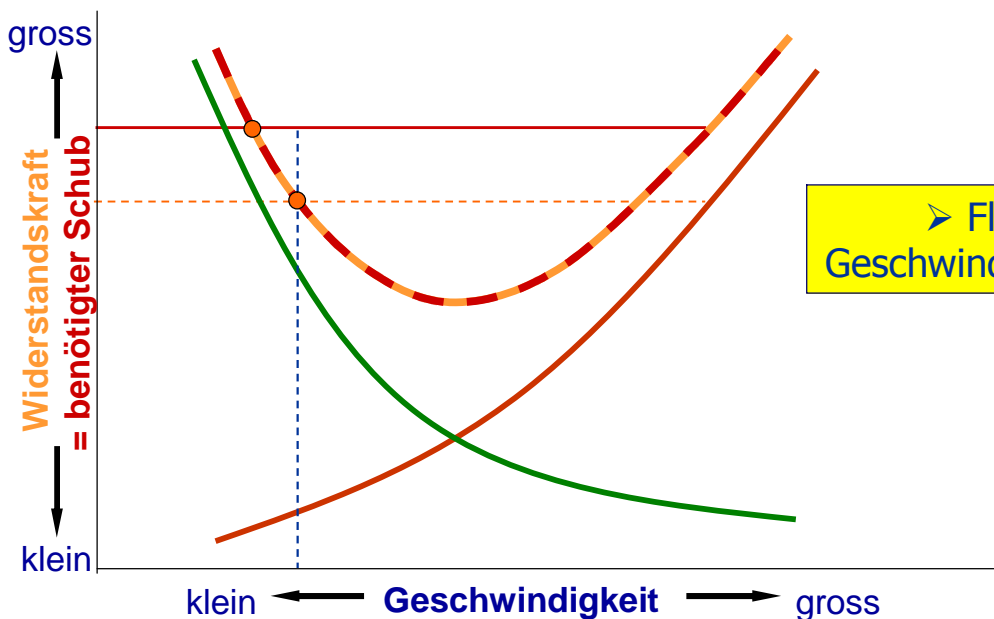
## Geschwindigkeits-Stabilität im Schnellflug-Bereich



➤ Flugzeug ist Geschwindigkeits-stabil!

Ch. Decking, Januar 2010

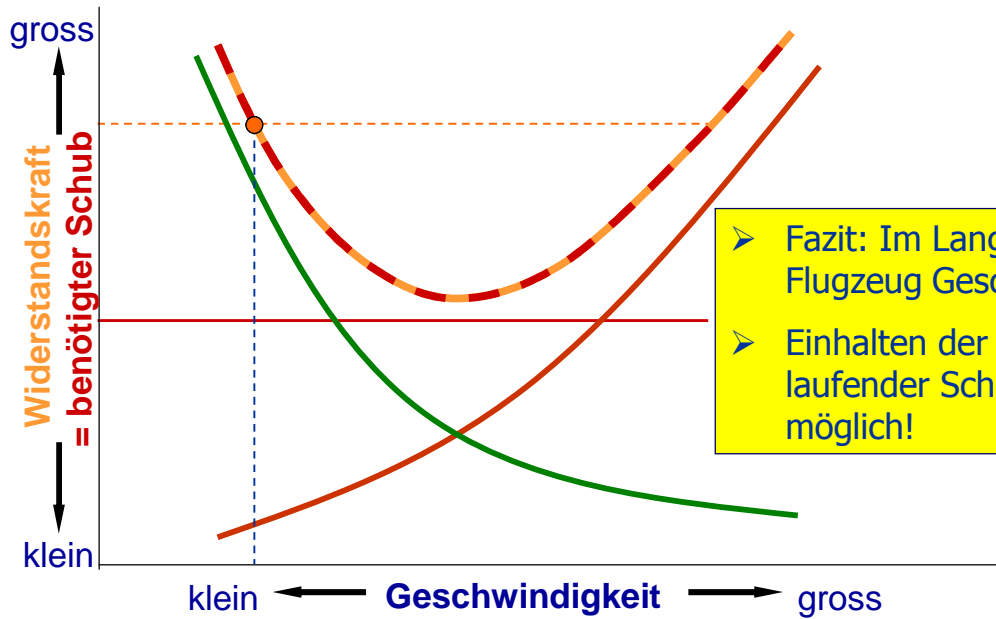
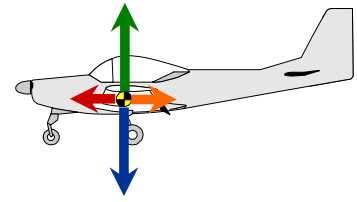
## Geschwindigkeits-Stabilität im Langsamflug-Bereich



➤ Flugzeug ist Geschwindigkeits-instabil!

Ch. Decking, Januar 2010

## Geschwindigkeits-Stabilität im Langsamflug-Bereich



- Fazit: Im Langsamflug-Bereich ist Flugzeug Geschwindigkeits-instabil!
- Einhalten der Speed nur mit laufender Schub-Änderungen möglich!