# Polare selbst Erfliegen

Motivation und Grundlagen

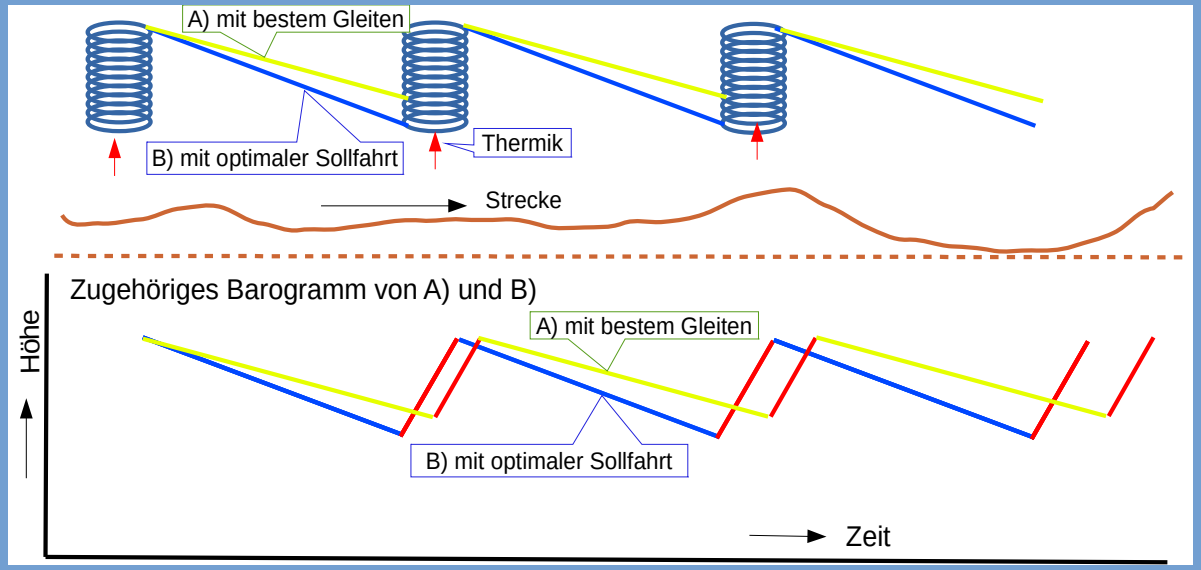
# Motivation und Grundlagen

Alle Strategien für einen erfolgreichen Streckenflug mit antriebslosen Fluggeräten basieren auf der sogenannten Geschwindigkeits-Polare. In der Segelfliegerei entwickelt, gehört die Sollfahrt-Theorie längst auch bei Gleitschirm- und Drachenpiloten zum allgemein akzeptierten Grundwissen.

Die Polare beschreibt im grafischer Form, welche Sinkgeschwindigkeit sich bei einem unbeschleunigten getrimmten Geradeausflug einstellt. Der Trimm-Geschwindigkeitsbereich wird i.a. vom Fluggeräte-Hersteller im Rahmen der Gerätezulassung festgelegt.
Landläufig wird die Polare auch so interpretiert (multipliziert man beide Achsen der Polaren mit einem festen Zeitintervall $\Delta t$):

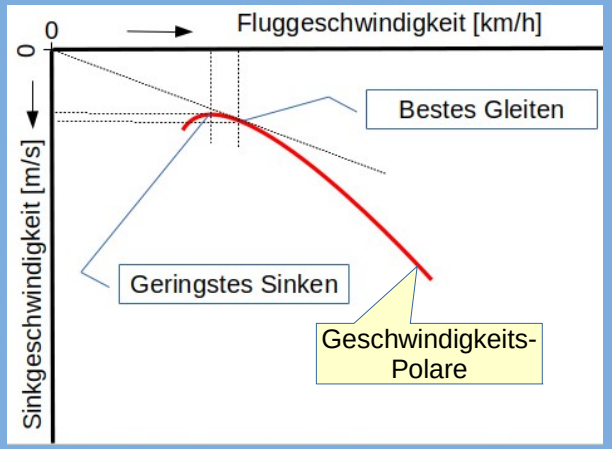
„Die Polare gibt an, welche Strecke $\Delta x$ aus einem Höhenverlust $\Delta h$ bei einer Flugge-schwindigkeit v erreicht werden kann“.

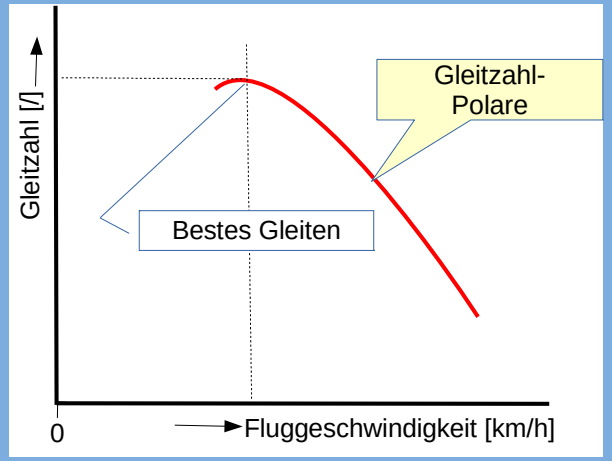
Die Gleitzahl ist definiert als: $G_z = \Delta x / \Delta h$ ;




Für die Praxis muss man sich allerdings etwas eingehender mit dem Thema „Polare“ befassen.

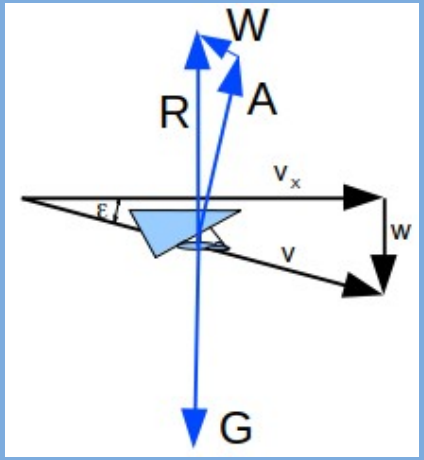
# Grundlagen Polare (1)




Warum gibt es für Drachen nicht in gleicher Weise wie bei Segelflugzeugen die Polare als Teil der (garantierten) "Technischen Daten" des Fluggerätes vom Hersteller?

Die Antwort folgt aus dem physikalischen Hintergrund. Die Polare beruht auf dem Gleichgewicht der Kräfte im geradlinigen, getrimmten Gleitflug mit konstanter Geschwindigkeit.




Die resultierende Luftkraft R aus Auftrieb A und Widerstand W ist vom Betrag gleich dem Gesamt-Fluggewicht G. Der Auftrieb A wird vom Flügel (mit kleinen Anteilen auch vom Leitwerk) erzeugt, der Widerstand aber von der gesamten durch die Luft geschobenen Konfiguration, also Flügel, Rumpf, Leitwerk, Fahrwerk.

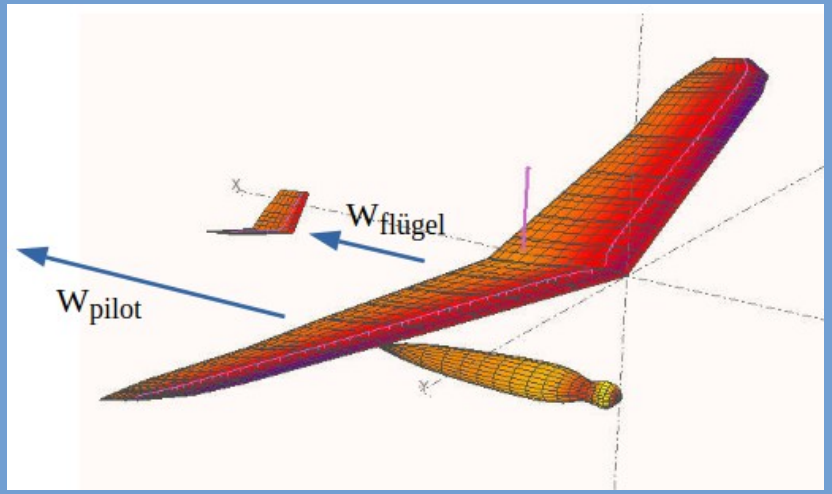
Beim heutigen Segelflugzeug sitzt der Pilot vollständig innerhalb der Kontur und beeinflusst nicht explizit den Gesamt-Widerstand.

Beim Drachen dagegen stellt der Hersteller nur den Flügel (und ggf. das Leitwerk) bereit und ist damit nur für einen <u>Teil des Gesamtwiderstand</u> verantwortlich.

# Grundlagen Polare (2)

Der andere und u.U. größere Teil des Widerstandes bleibt Sache des Piloten (Flatterkleidung, Maikäfer-Fluglage usw.)

**Beim Drachen und Gleitschirm ist der Gesamtwiderstand W die Summe von $W_{flügel} + W_{pilot}$.**




**F**olglich: Je leistungsfähiger der Flügel, also je kleiner dessen Widerstandsanteil $W_{flügel}$ ist, umso stärker fällt der Einfluss von $W_{pilot}$ am Gesamtwiderstand W auf die Gleit-Leistung ins Gewicht. (Unter $W_{pilot}$ sei alles, was unter dem Flügel hängt zusammen gefasst.)

Für die Luftkräfte gilt:

$A = c_a \cdot q \cdot F_{flügel}$ ; $W_{flügel} = c_w \cdot q \cdot F_{flügel}$

$W_{pilot} = c_{w,pilot} \cdot q \cdot F_{pilot}$

Dabei ist der Staudruck: $q = ½ \cdot \rho \cdot v^2$; $\rho$ (gesprochen <rho> gleich Luftdichte [kg/m³]), $F_{flügel}$ = senkrechte Projektion der Flügelfläche, $F_{pilot}$ = Stirnfläche des Piloten,

# Grundlagen Polare (3)

Ein weiterer Unterschied zum klassischen Segelflugzeug ergibt sich aus dem Verhältnis der zulässigen Änderung des Fluggewichts zum maximalen Fluggewicht.

| | max.Fluggewicht [kg] | max. Änderung der Zuladung [kg] | Verhältnis | |
|---|---|---|---|---|
| Segelflugzeug (Cirrus) | 330 | 38 | 0,12 | |
| Drachen AIR-ATOS-VRplus | 177 | 67 | 0,38 | |

Aus dem Kräftegleichgewicht wird unmittelbar klar. Der Gleitwinkel $\varepsilon$ spiegelt das Verhältnis von Auftrieb zu Widerstand dar. Bei unterschiedlichen Fluggewichten des gleichen Flügels muss nur der Staudruck q entsprechend angepasst werden, um den selben Gleitwinkel einzuhalten.

Vergleicht man in gleicher Höhe (gleicher Luftdichte) die Geschwindigkeiten bei unterschiedlichen Fluggewichten, so wird der Staudruck q entsprechend über das Quadrat der Geschwindigkeit angepasst. Im Prinzip bedeutet dies. Eine Polare bleibt in sich unverändert, nur die Geschwindigkeitsmaßstäbe für Flug- und Sinkgeschwindigkeit ändern sich. Bei größerem Gewicht wird das Fluggerät bei gleichem Gleitwinkel schneller unter Inkaufnahme einer größeren Sinkgeschwindigkeit. Moderne Segelflugzeuge tanken deshalb bei guter Thermik erhebliche Mengen an Wasserballast.

**Polaren des gleichen Fluggerätes mit unterschiedlichen Fluggewichten können einfach ineinander umgerechnet werden.**

Während die Leistungen des Flügels allein inzwischen relativ genau durch Simulationsrechnungen ermittelt werden können („gerechnete Polare des Flügels“), ist eine theoretische Erfassung der Widerstandskräfte von Pilot, Trapez usw. nur sehr grob abschätzbar und somit im Einzelfall mit großer Unsicherheit behaftet. Es liegt daher, wie ja auch vielfach vorgeschlagen, nahe, diese Unsicherheit durch eigene Testflüge zu reduzieren.

.

# Grundlagen Polare (4)

Allerdings stellt sich hier das zweite Problem. Die einfachen Bedingungen, die einer gerechneten Polaren zugrunde gelegt werden können, nämlich ruhende Luft konstanter Dichte $\rho$ können in einem praktischen Testflug nicht eben so einfach realisiert werden

| Geschwindigkeits-Faktor als Funktion der Höhe gemäß Standard-Atmosphäre | | |
|---|---|---|
| Höhe über NN [m] | Luftdichte $\rho$ [kg/m³] | TAS-Geschw.-Faktor |
| 0 | 1,225 | 1,0 |
| 2000 | 1,0035 | 1,105 |
| 3000 | 0,90913 | 1,161 |

Einfluss der Luftdichte, abhängig von der Flughöhe
Die nebenstehende Tabelle zeigt den Einfluss der Höhe auf die wahre Fluggeschwindigkeit v, um den selben Staudruck wie in Meereshöhe zu erreichen. In der Höhe muss die wahre Fluggeschwindigkeit (true_air_speed TAS) vergrößert werden, um im gleichen Trimmzustand das Kräftegleichgewicht herzustellen. Dabei erhöht sich die Sinkgeschwindigkeit w um denselben Faktor.

**Polaren des gleichen Fluggerätes mit gleichem Fluggewicht in unterschiedlichen Flughöhen können einfach ineinander umgerechnet werden.**

Achtung: Dieser Satz gilt nur, wenn die Fluggeschwindigkeit als TAS dargestellt und gemessen wird.
Viele Fluginstrumente messen und zeigen die Fluggeschwindigkeit an als die „indicated_air_speed“ (IAS).
Damit bleiben die Geschwindigkeits-Anzeigen und – Grenzen ($v_{stall}$, $v_{NE}$) höhenunabhängig und die erhöhte Sinkgeschwindigkeit fällt nicht unmittelbar ins Auge.

# Grundlagen Polare (5)

Sowohl zu Vergleichszwecken zwischen Theorie und Realität wie auch zum Vergleich verschiedener Gleitflugzeuge untereinander hat es sich eingebürgert, als Referenz-Luftdichte mit der der ISA-Standard-Atmosphäre in Meereshöhe zu arbeiten, (auch wenn sich weder Segelflieger noch Drachen in dieser Höhe mit besonderen Leistungs-Ambitionen aufhalten.) Daher beziehen sich auch die sogenannten „Verkaufs-Polaren“ von Segelflugzeugen auf diese Bedingungen.

Diese Bedingungen sind aus der Festlegung der Internationalen Standard-Atmosphäre für Meereshöhe entnommen und lauten: Temperatur: T = 15° C, Luftdruck p = 1013,25 hPa.

Messungen bei anderen Bedingungen können gemacht werden, wenn diese (Druck, Temperatur) erfasst sind.

**Unterschiedlicher Flächenbelastungen und unterschiedliche Flughöhen bedeuten unterschiedliche Geschwindigkeits-Polaren. Diese lassen sich aber durch einfache Maßstabs-Änderungen in eine einzige Polare überführen.**

**Als große Unbekannte bleibt die Polare das Systems „Flügel plus Pilot“ unter definierten Randbedingungen.**

**Diese muss man selbst erfliegen.**