

Fliegen mit Wasserballast

D-Kader Treffen
LSP Brandenburg
10.1.2015



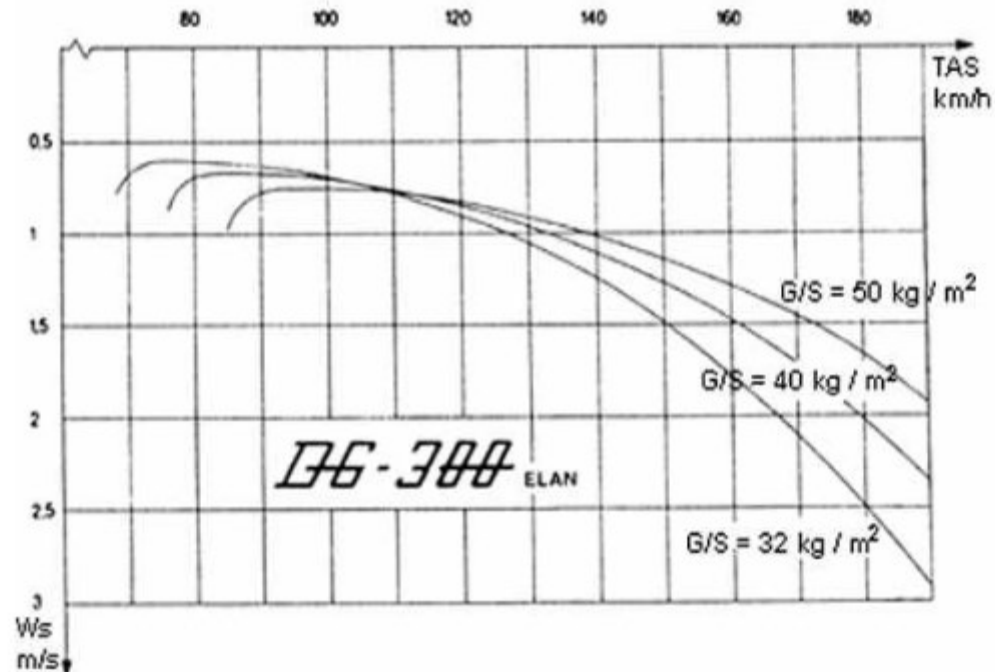
Fliegen mit Wasserballast

- Theorie, flugmechanische Zusammenhänge
 - Gleiten
 - Kurvenflug
- Bauliche Maßnahmen
- Flugpraxis
- Wettbewerbstaktik



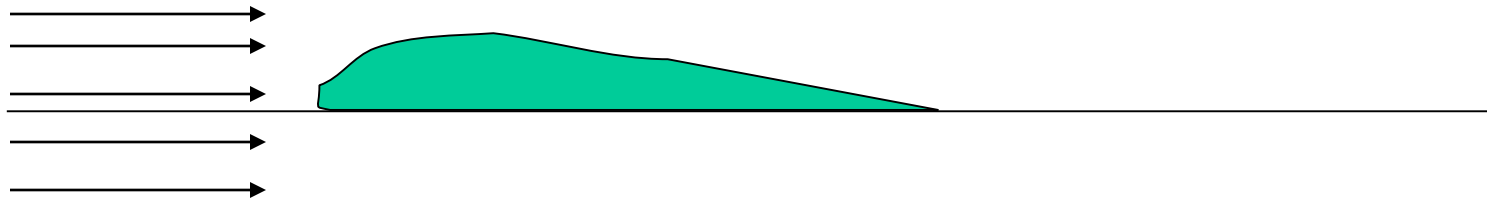
Wieso verändert sich die Polare bei Wasserballast ?

[DG-300](#) | [DISCUS-CS](#) | [NIMBUS-2](#) | [ASW-19](#) | [HORNET-C](#) | [LS7](#) | [LS7+Winglets](#) | [LSB](#)
DG-300 Polare



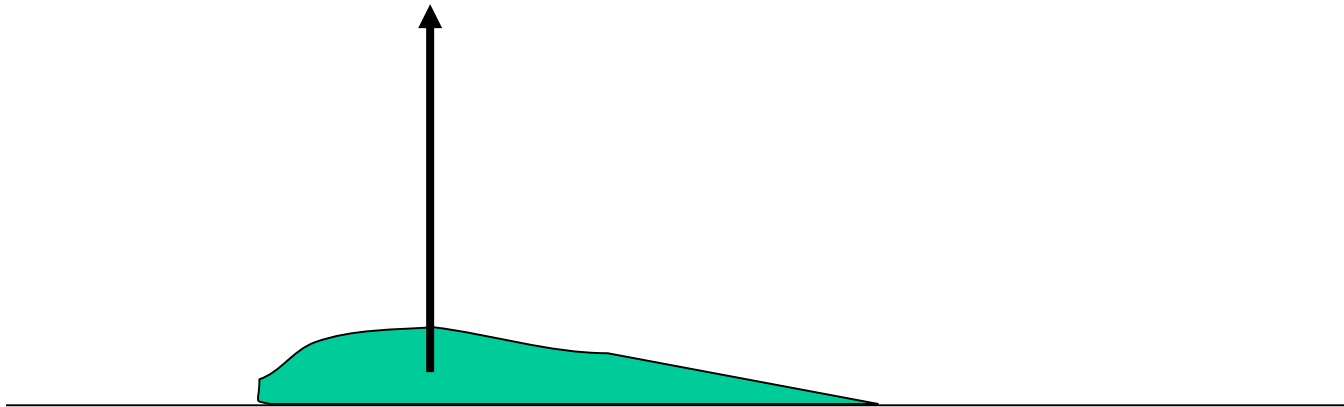
Theorie

← Horizontale Bewegungsrichtung des Flügels



Luftströmung

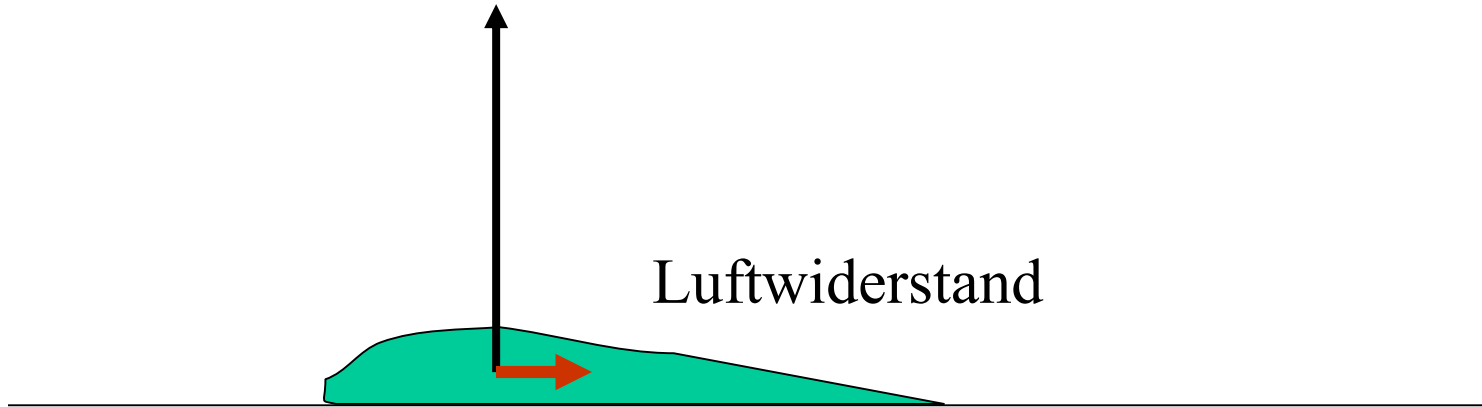
Auftrieb

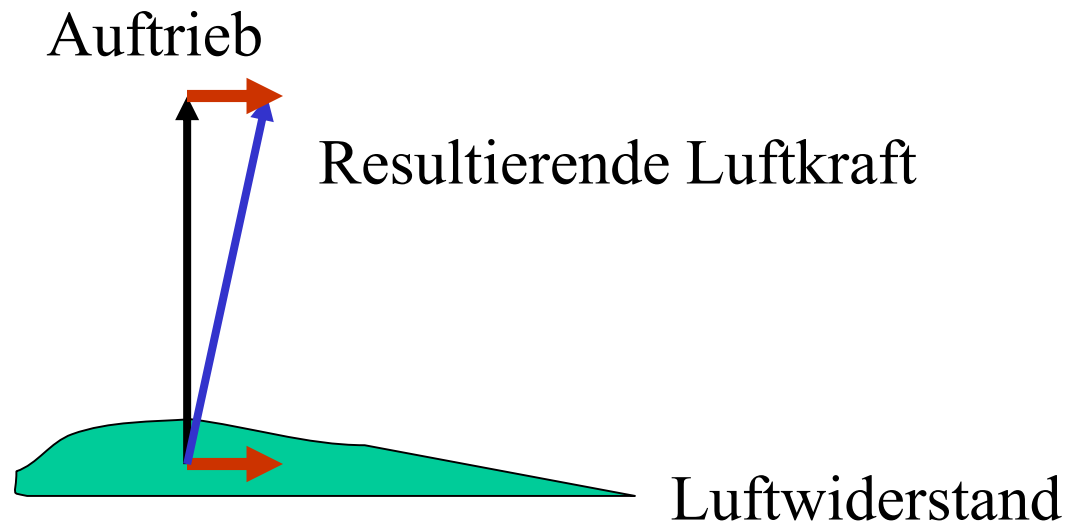


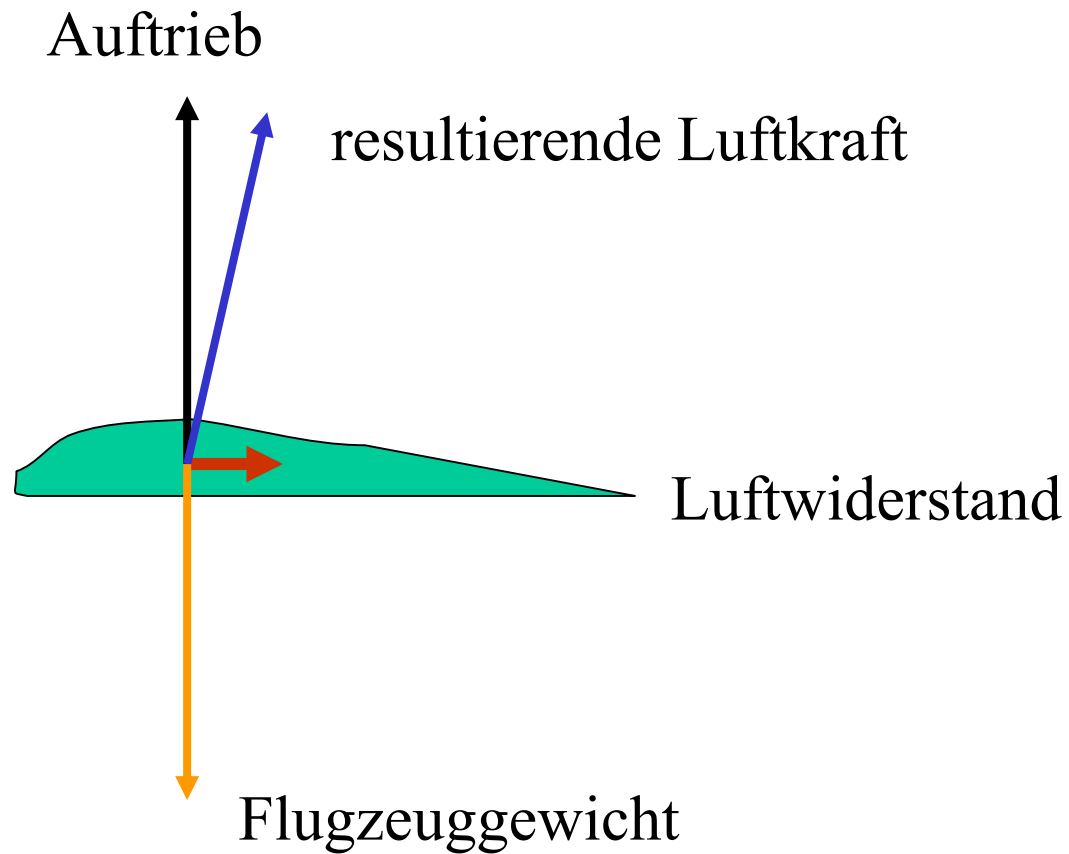
← Bewegungsdichtung

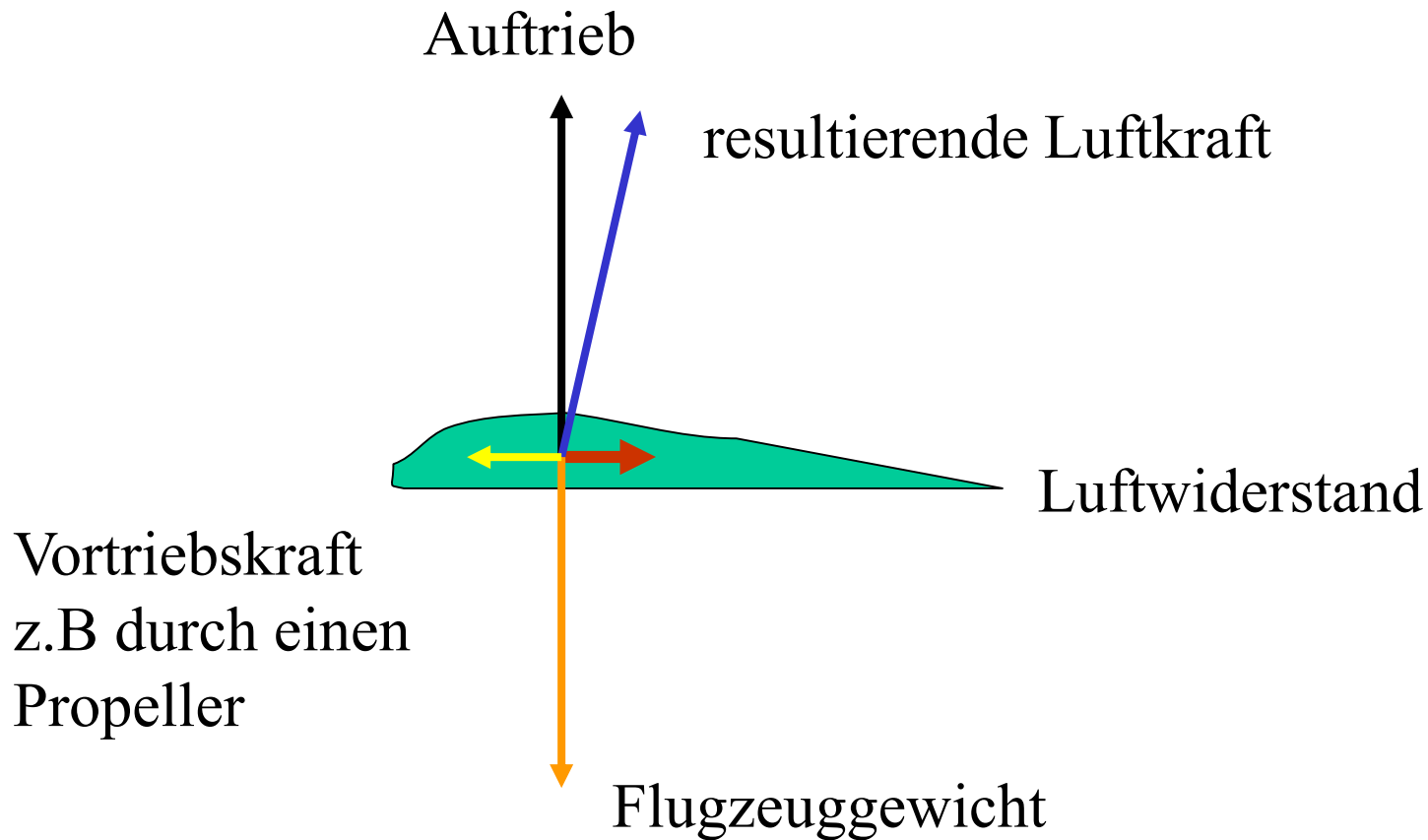
Auftrieb

Luftwiderstand



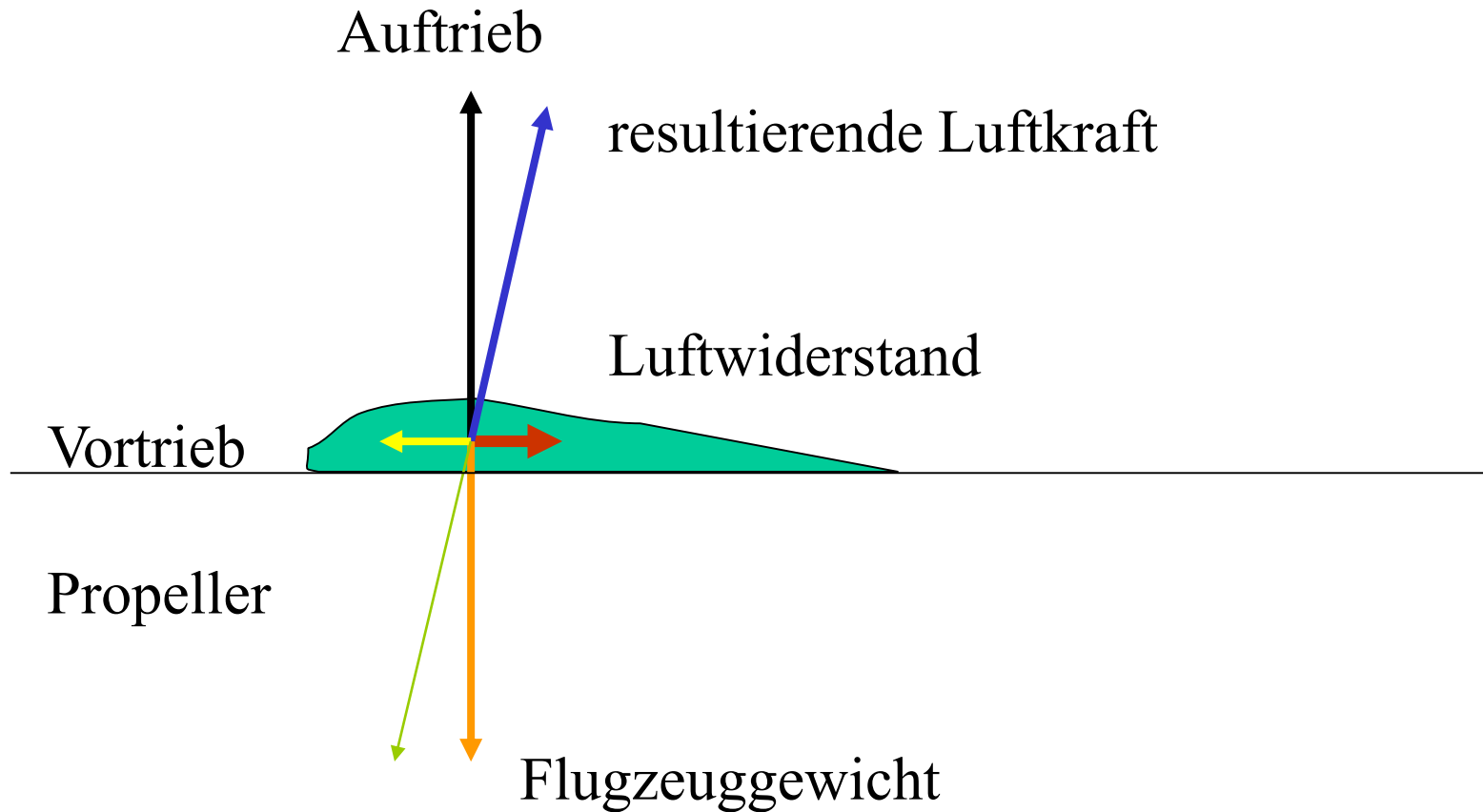






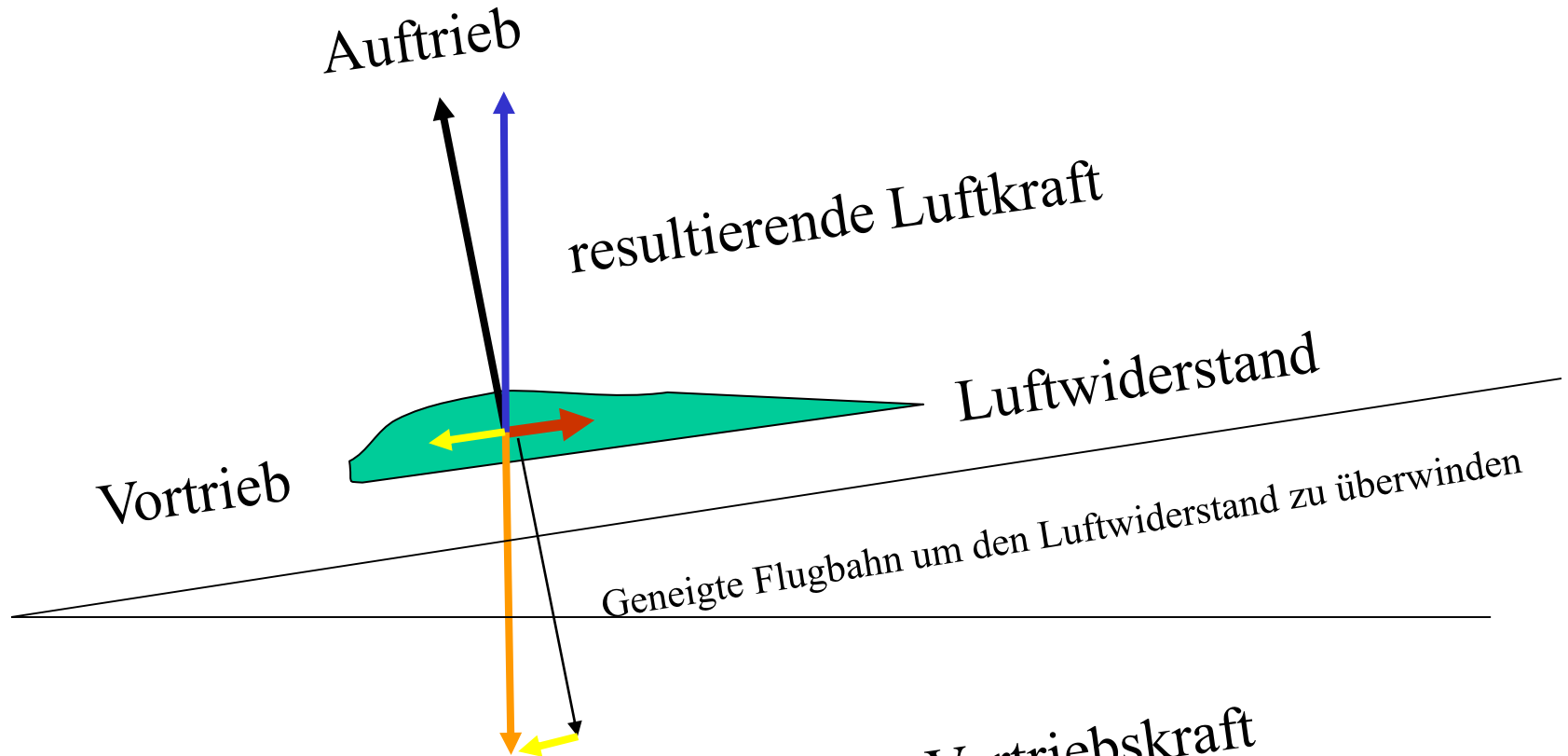
z.B. Motorflugzeug

horizontale Flugbahn



Segelflugzeug

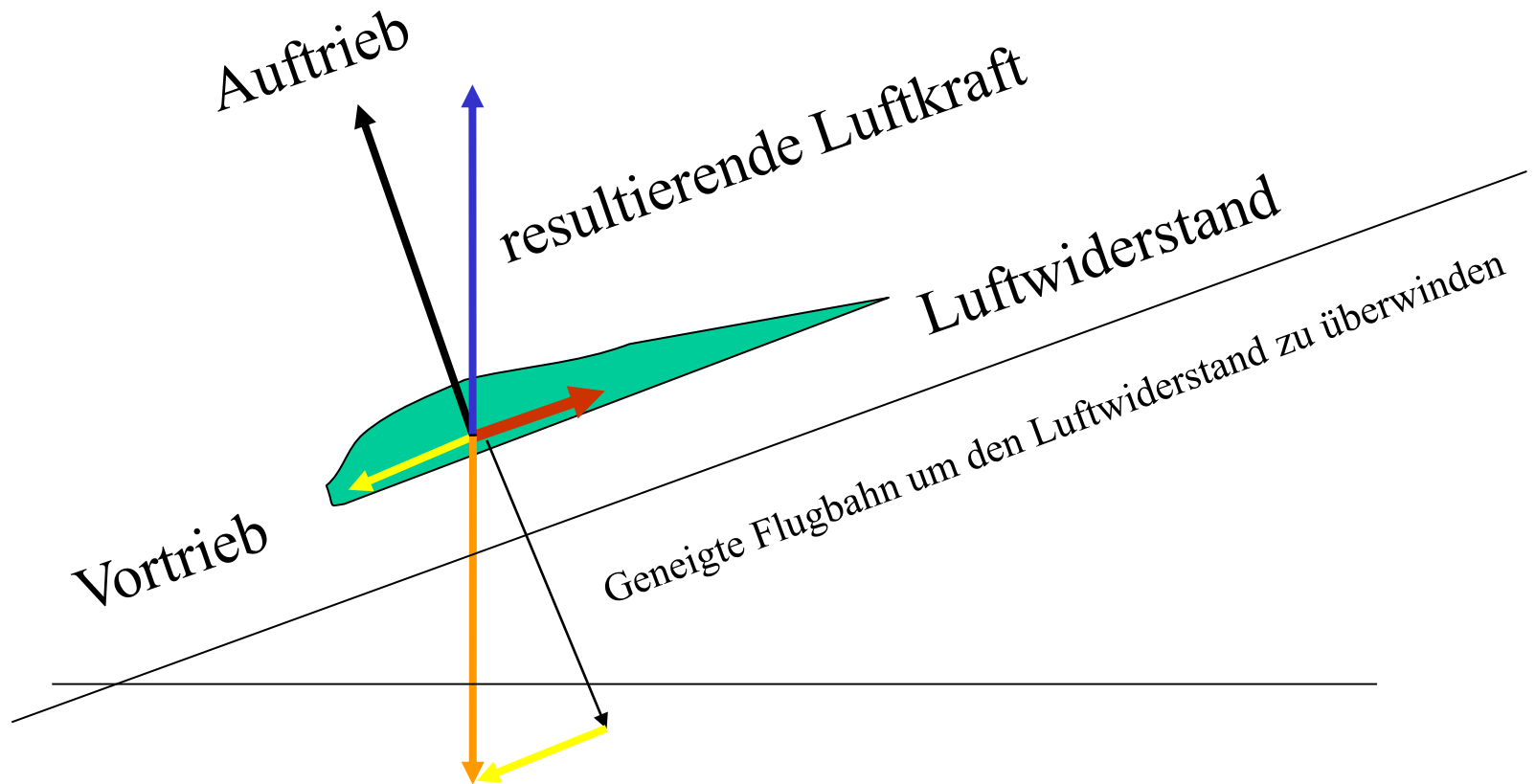
bestes Gleiten ca 100 km/h
Gleitzahl ca. 42 (LS 8)



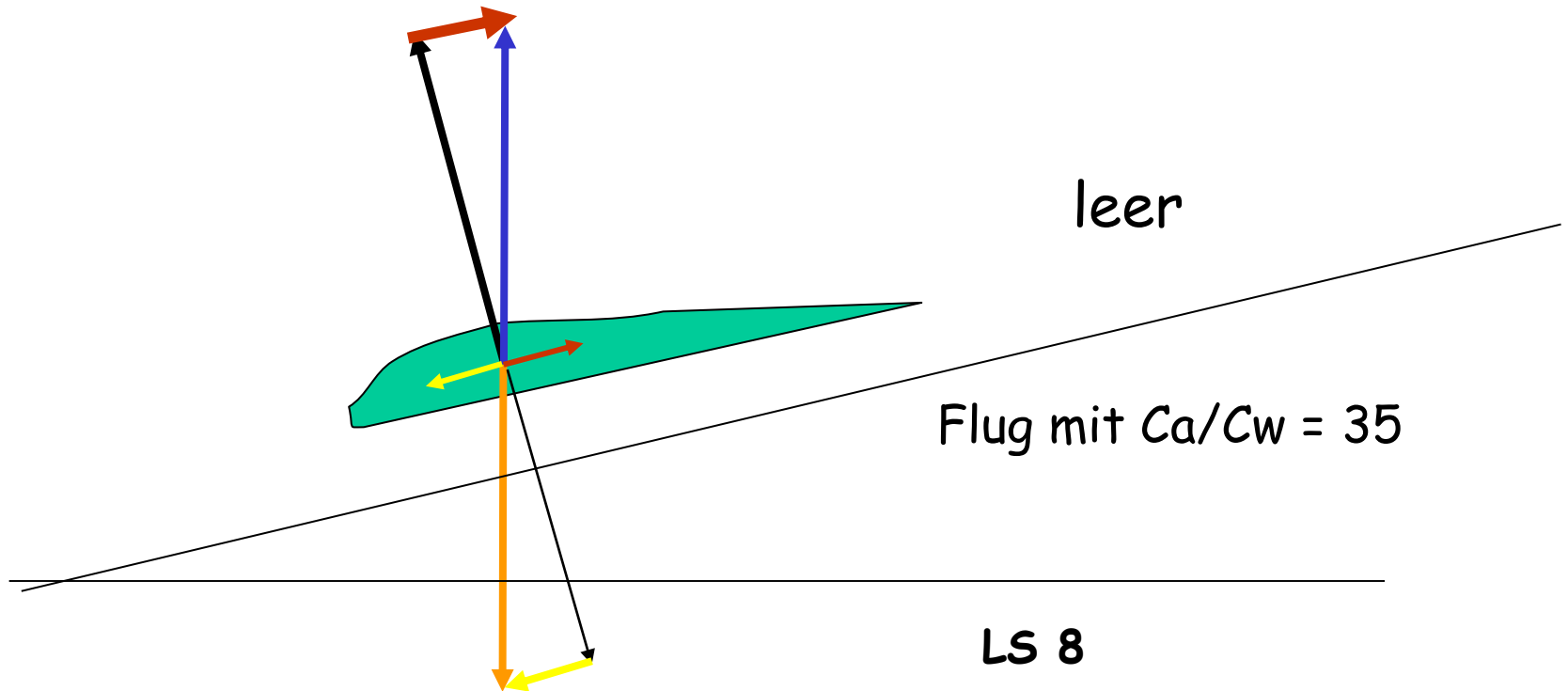
Ein Teil des Flugzeuggewichts erzeugt die Vortriebskraft

Segelflugzeug

Schnellflug 160 km/h
Gleitzahl ca. 30 (LS 8)



Segelflugzeug mit Wasserballast, Beispiel LS 8



leer

Flug mit $C_a/C_w = 35$

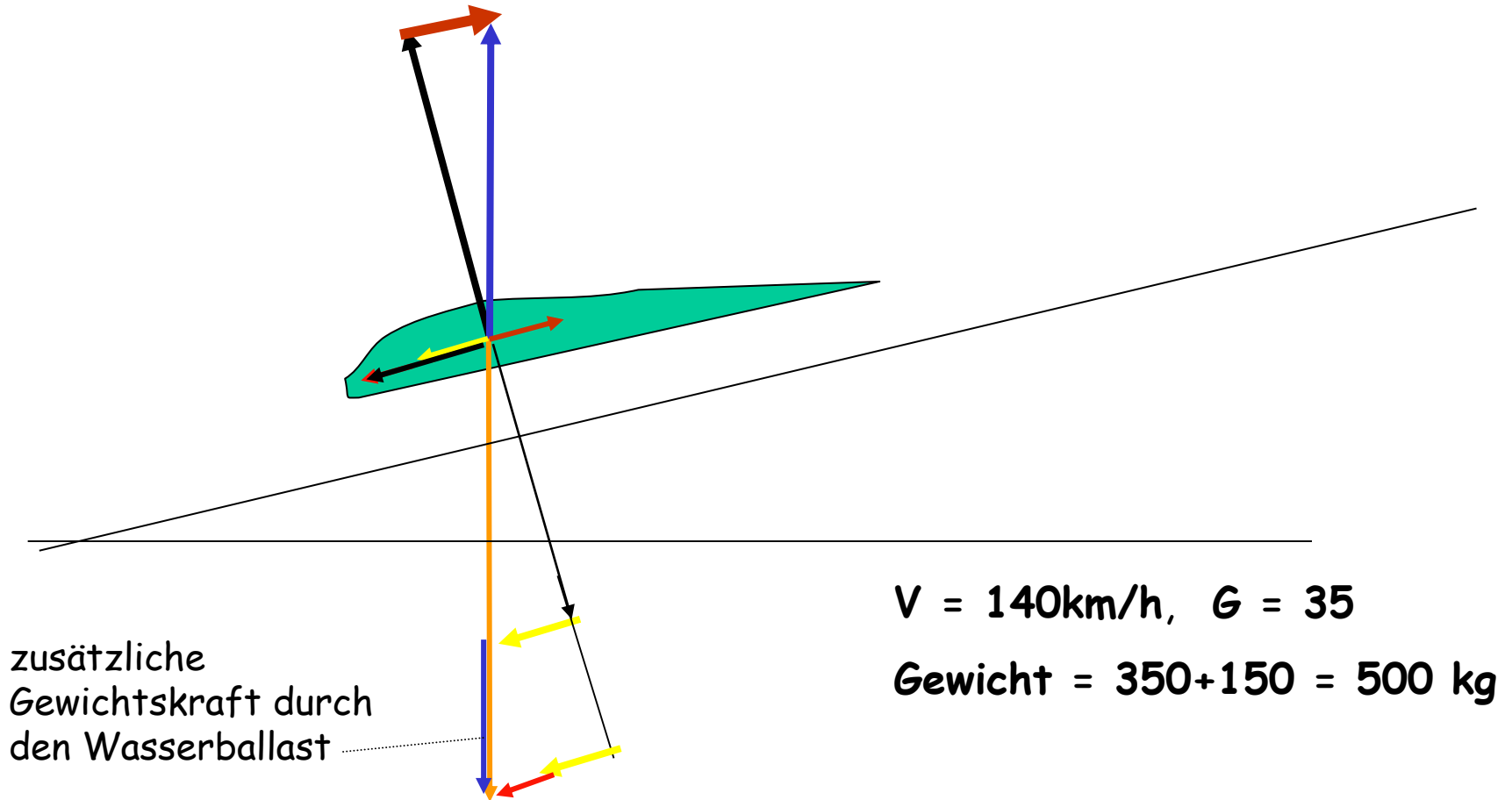
LS 8

$V = 140\text{km/h}$, $G = 35$

Gewicht = 350 kg

Segelflugzeug mit Wasserballast, Beispiel LS 8

Gedankenexperiment: wir erhöhen das Gewicht im Flug



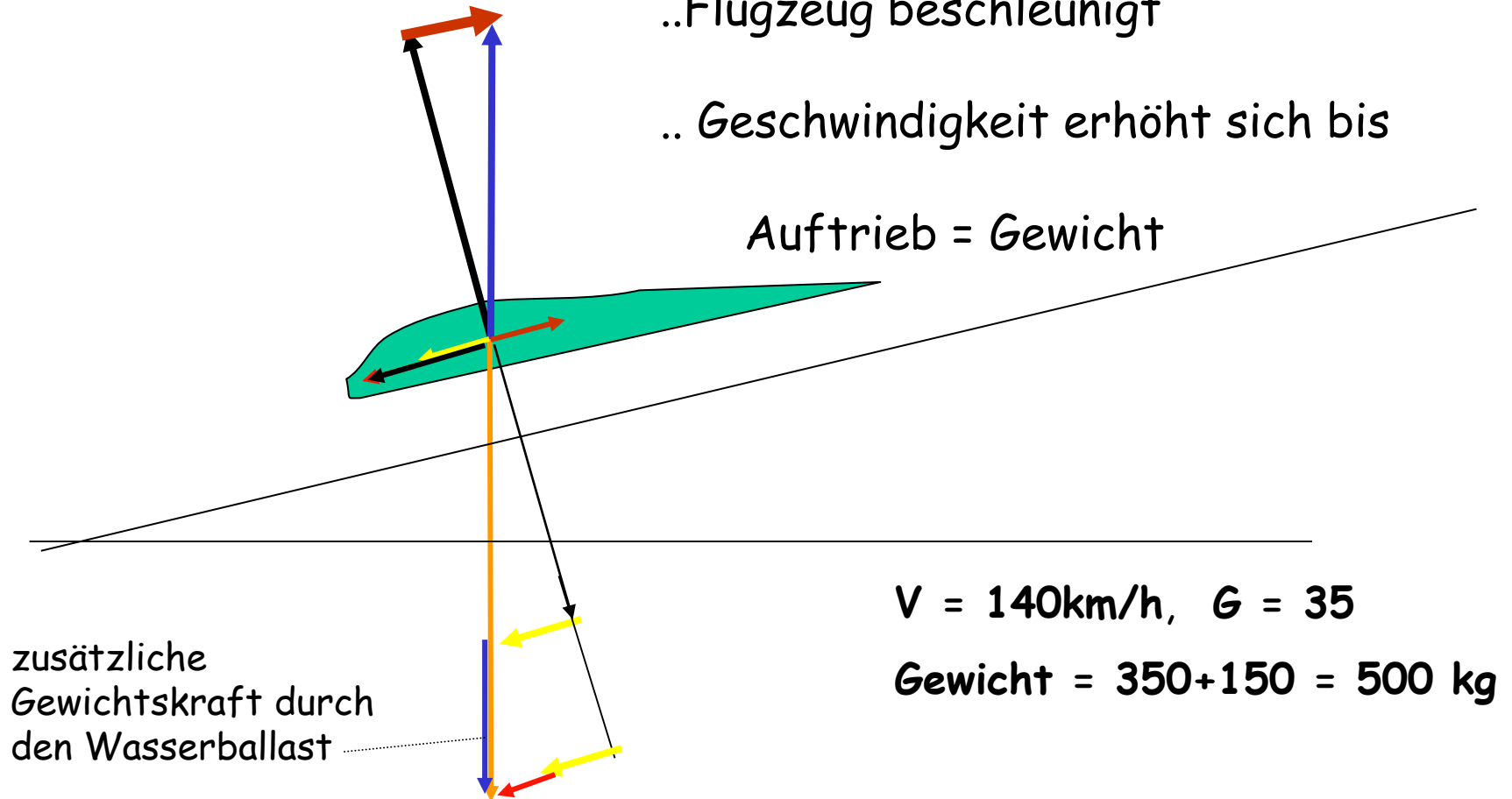
Segelflugzeug mit Wasserballast, Beispiel LS 8

Gedankenexperiment: wir erhöhen das Gewicht im Flug

..Flugzeug beschleunigt

.. Geschwindigkeit erhöht sich bis

Auftrieb = Gewicht



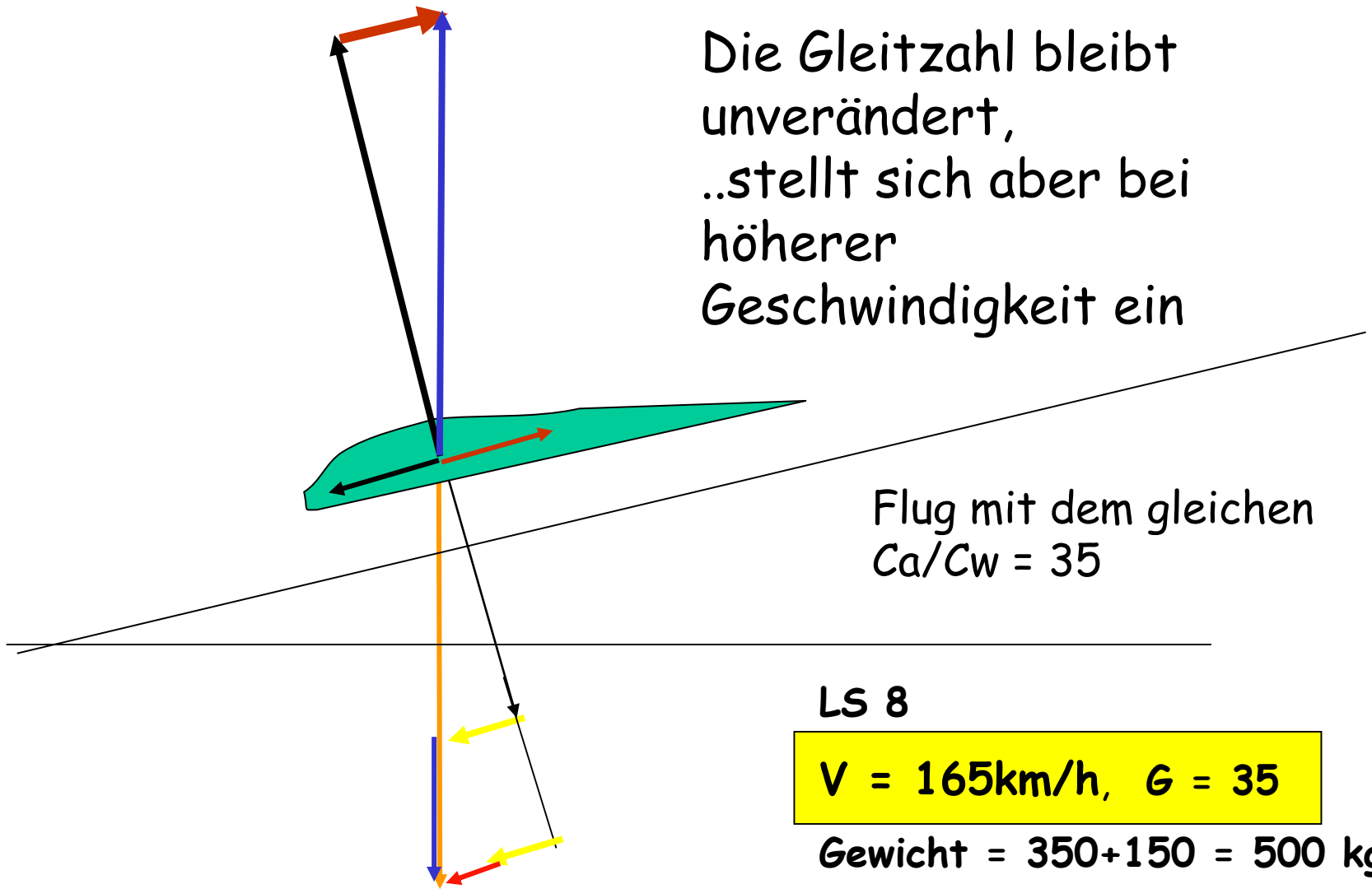
$$V = 140\text{km/h}, G = 35$$

$$\text{Gewicht} = 350 + 150 = 500 \text{ kg}$$

zusätzliche
Gewichtskraft durch
den Wasserballast

Segelflugzeug mit Wasserballast, Beispiel LS 8

Die Gleitzahl bleibt unverändert, ..stellt sich aber bei höherer Geschwindigkeit ein



Umrechnung der Polare für verschiedene Gewichte, bzw. Flächenbelastungen

$$V_j = \sqrt{\frac{G_2}{G_1}} \cdot V_i$$

$$V_{S0} = \sqrt{\frac{G_2}{G_1}} \cdot V_{S1}$$

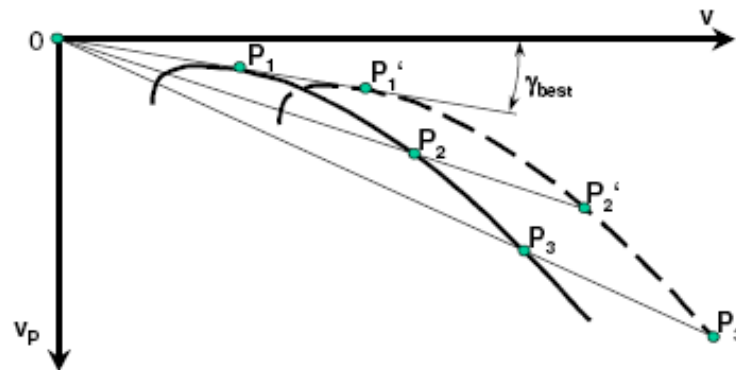


Bild 39: Änderung der Sinkgeschwindigkeitspolare in Abhängigkeit von der Flächenbelastung [2]

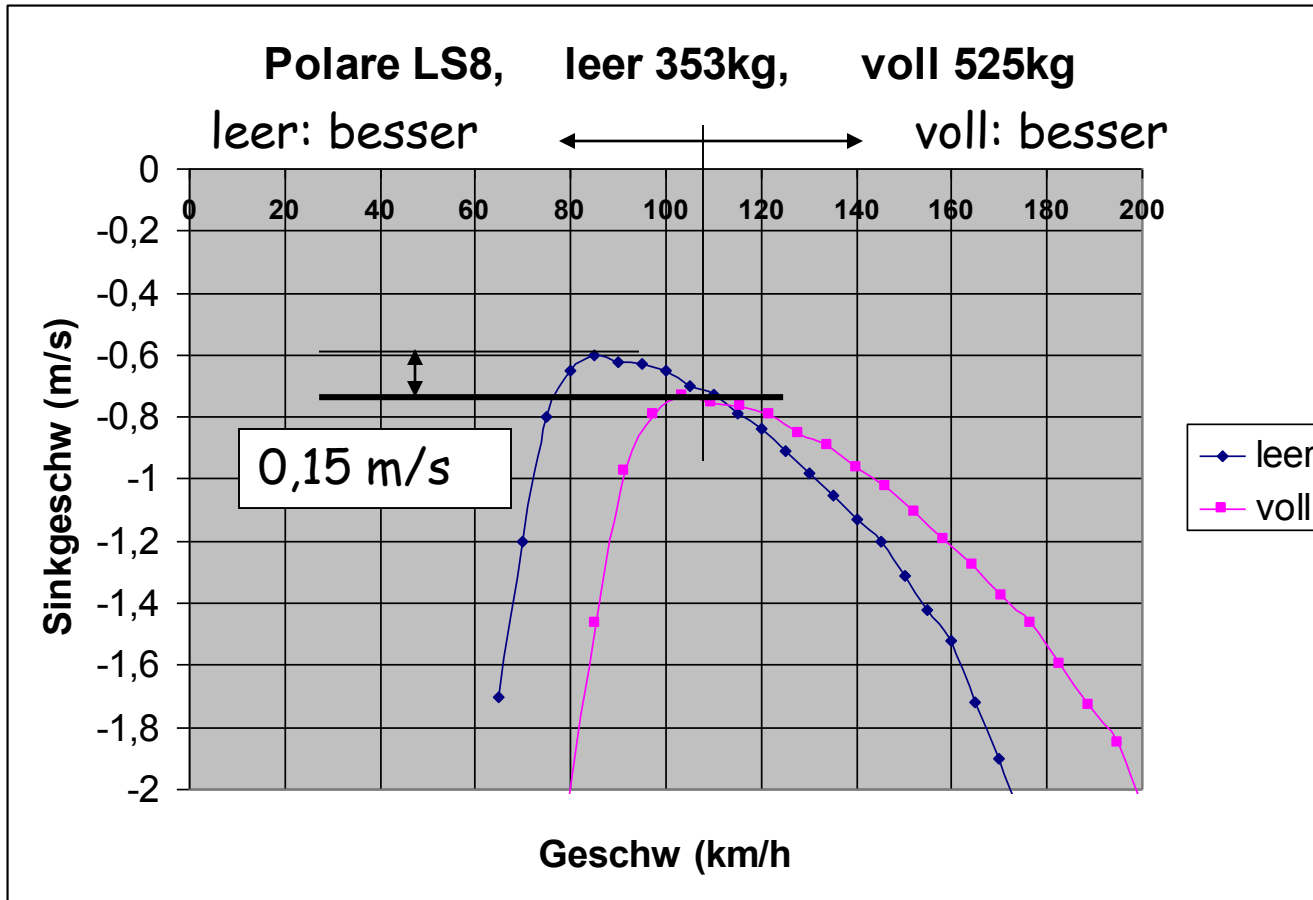
Umrechnung der Polare für verschiedene Gewichte, bzw. Flächenbelastungen

Beispiel LS8 Fluggewicht ohne Wasser $G_1 = 350 \text{ kg}$

Wasserballast	Fluggewicht G_2	G_2/G_1	Abbildungsverhältnis $A_b = \text{Wurzel}(G_2/G_1)$
50 Ltr	$350+50= 400\text{kg}$	$400/350 = 1,14$	1,07
100 Ltr	450kg	1,29	1,13
150 Ltr	500kg	1,43	1,2

Beispiel, 350kg 100 km/h \Rightarrow 500kg 120 km/h
 - 0,62 m/s - 0,74 m/s

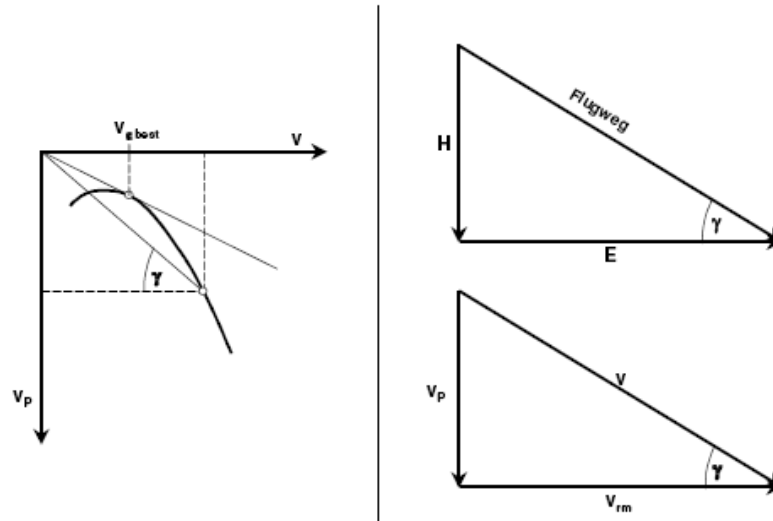
Segelflugzeug mit Wasserballast, Beispiel LS 8



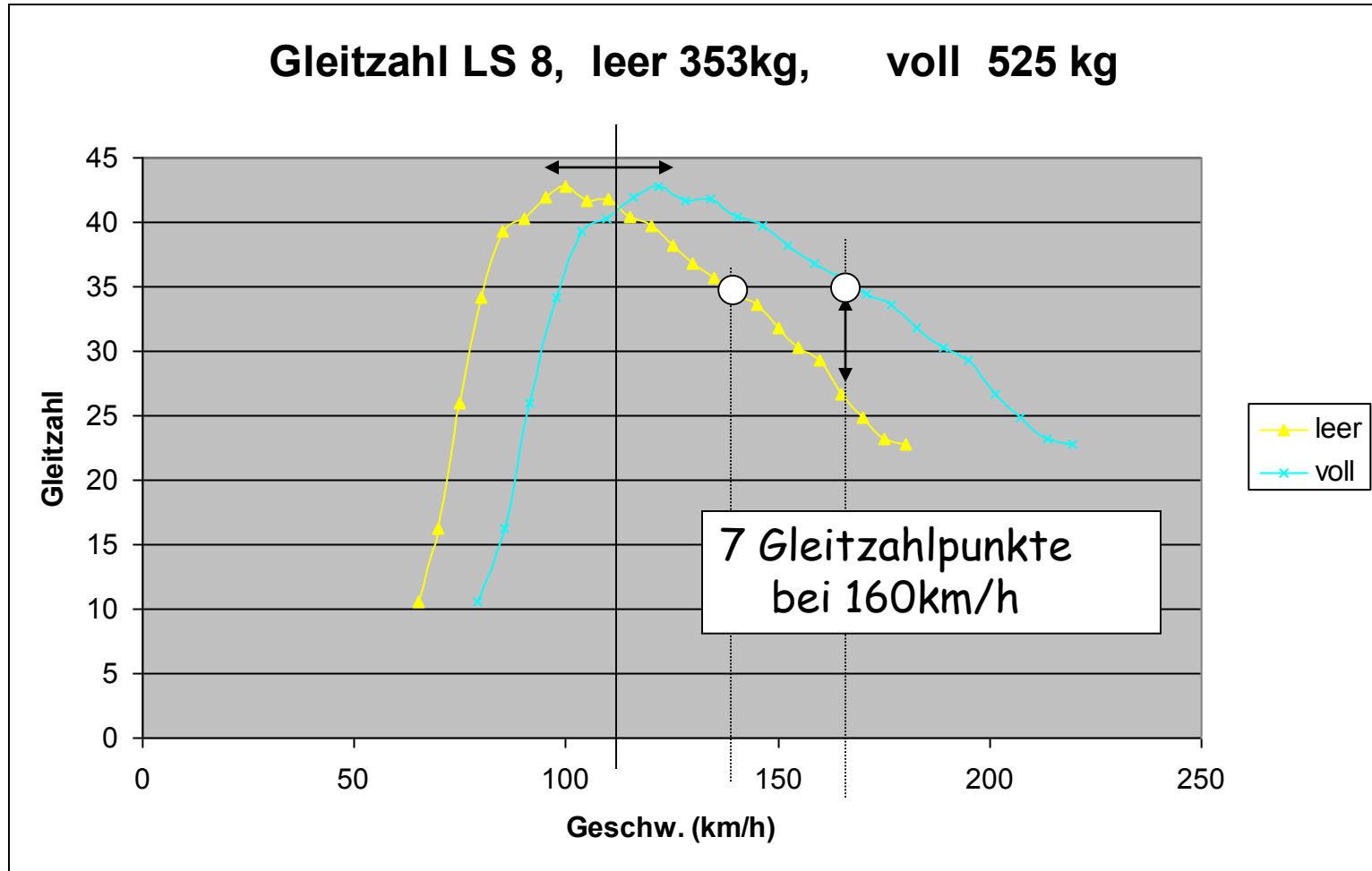
Polare und Gleitzahl

Gleitzahl = Strecke / Höhe

= Fluggeschwindigkeit / Sinkgeschwindigkeit

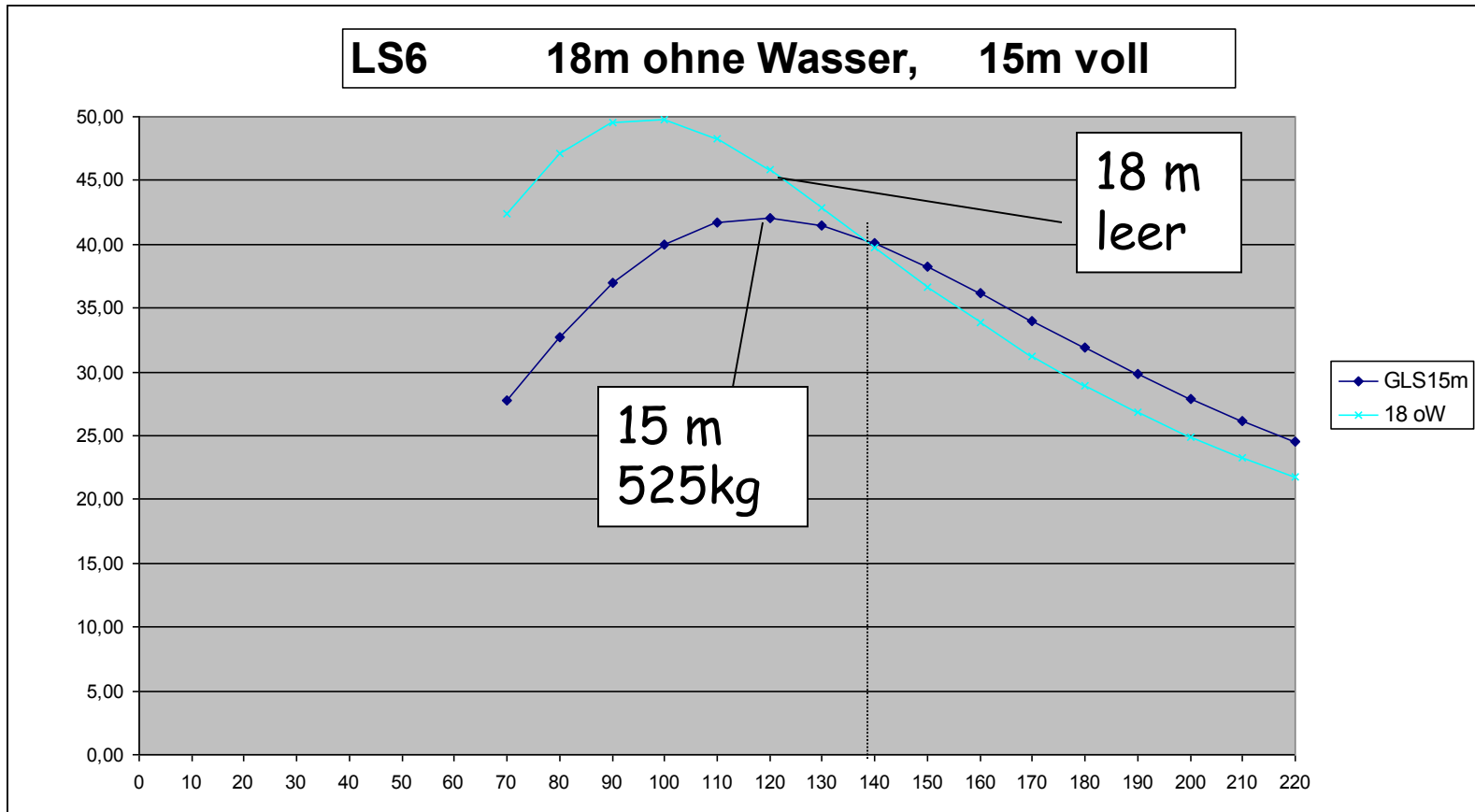


Segelflugzeug mit Wasserballast, Beispiel LS 8



Segelflugzeug mit Wasserballast

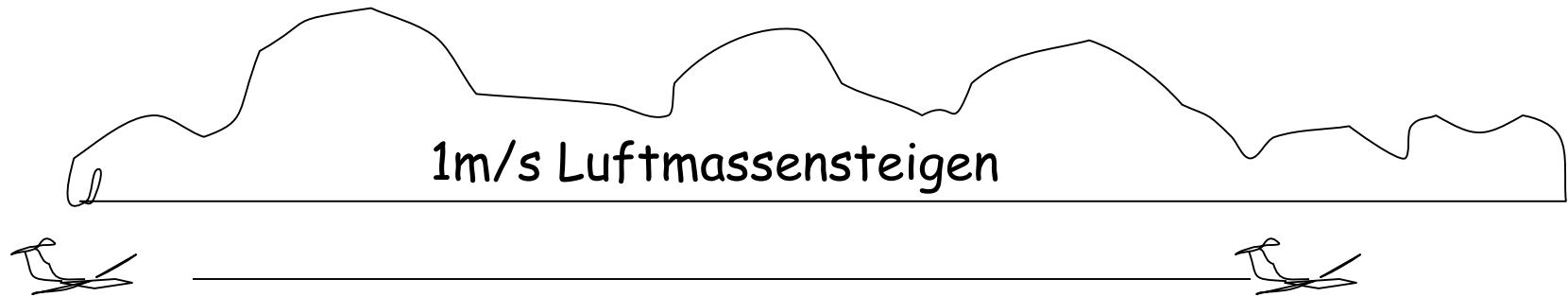
Einfluß von Wasserballast: LS 6 18m - 15m



Segelflugzeug mit Wasserballast

Flug unter Wolkenreihungen,

Beispiel: LS6 18m



0 Ltr	Schnitt	137 km/h
50 Ltr		142 km/h
100 Ltr		146 km/h
150 Ltr		150 km/h

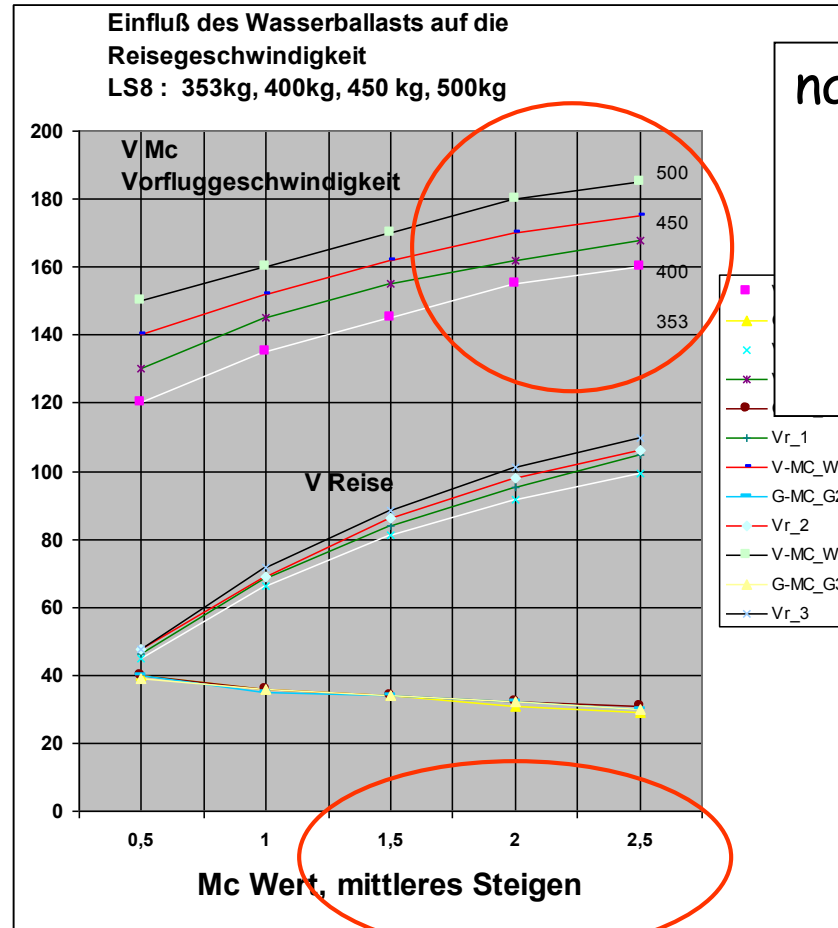
Fliegen mit Wasserballast

- Theorie, flugmechanische Zusammenhänge
 - Gleiten
 - Kurvenflug
- Bauliche Maßnahmen
- Flugpraxis
- Wettbewerbstaktik



Fluggeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Steigen und Wasserlast

Beispiel LS8



nach MC,
 ...Kurbeln
 ..keine
 Reihungen

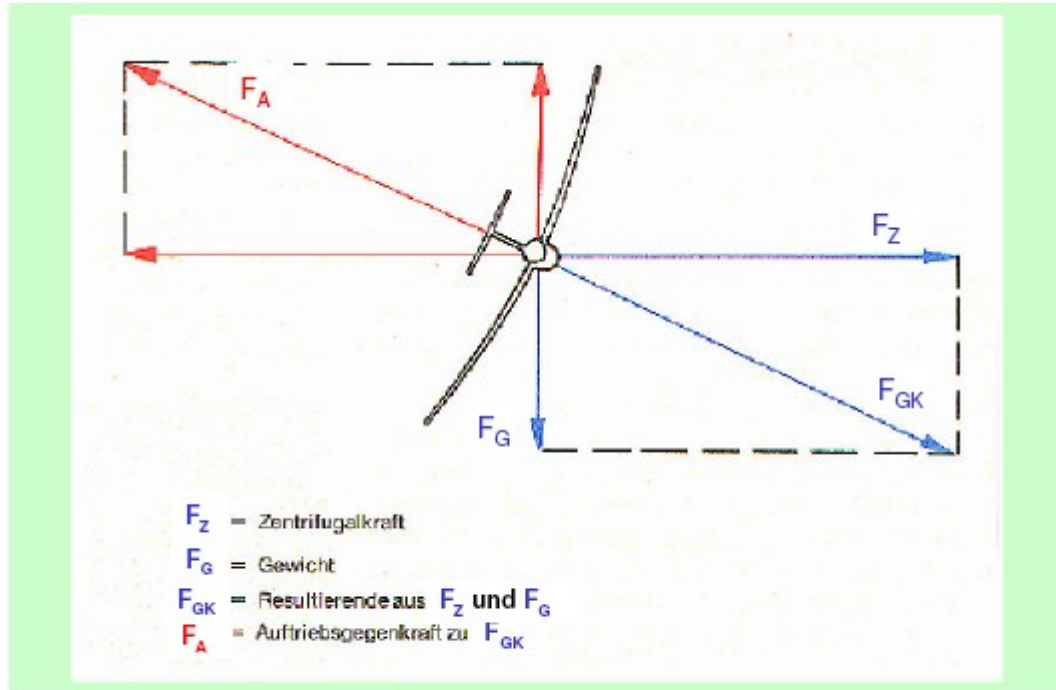
Kurvenflug

...ohne Wasser

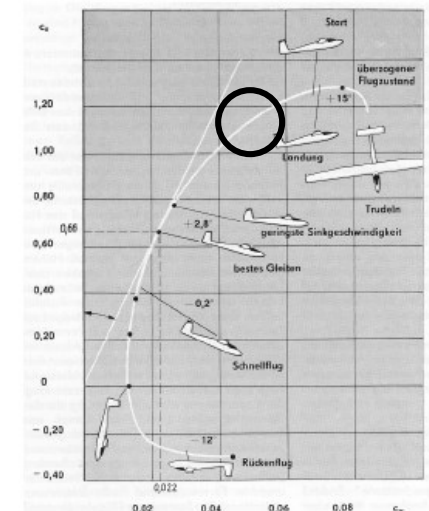
Auftrieb erhöht, => ..hohes C_a oder

höhere Geschwindigkeit

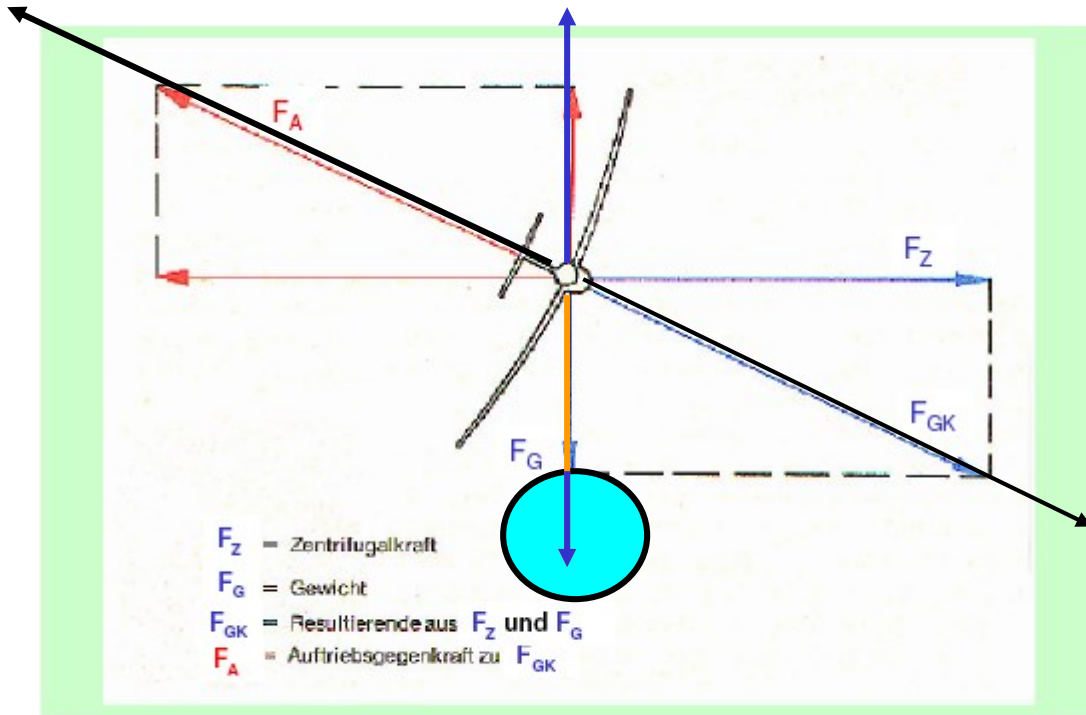
$$F_a = C_a * v^2$$



Polardiagramm (Lilienthal-Polare)

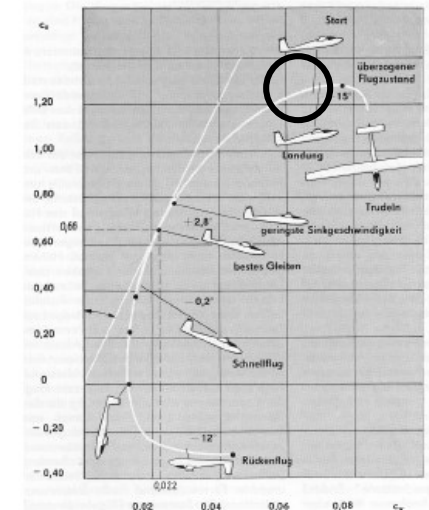


Kurvenflug mit Wasser, ..weitere Auftriebserhöhung notwendig



$$F_a = C_a * v^2$$

Polardiagramm (Lilienthal-Polare)



Kurvenflug

feste Beziehung: Kreisradius, Geschwindigkeit, Schräglage

$$r = v^2 / \tan(\alpha) * g$$

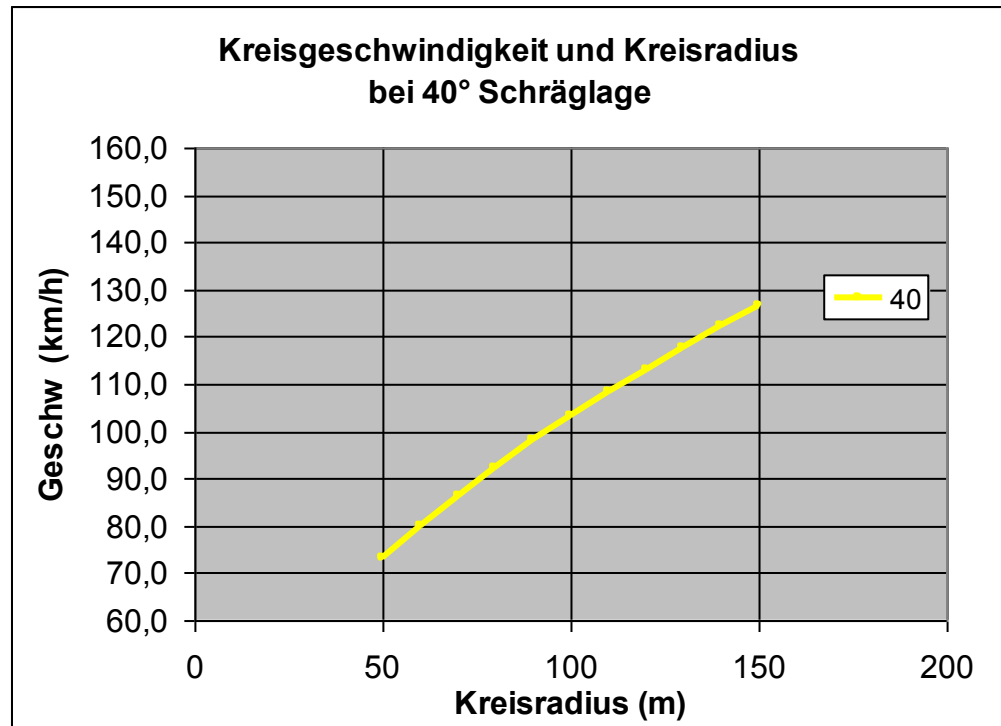
r : Kreisradius

v : Geschwindigkeit

alpha : Schräglage

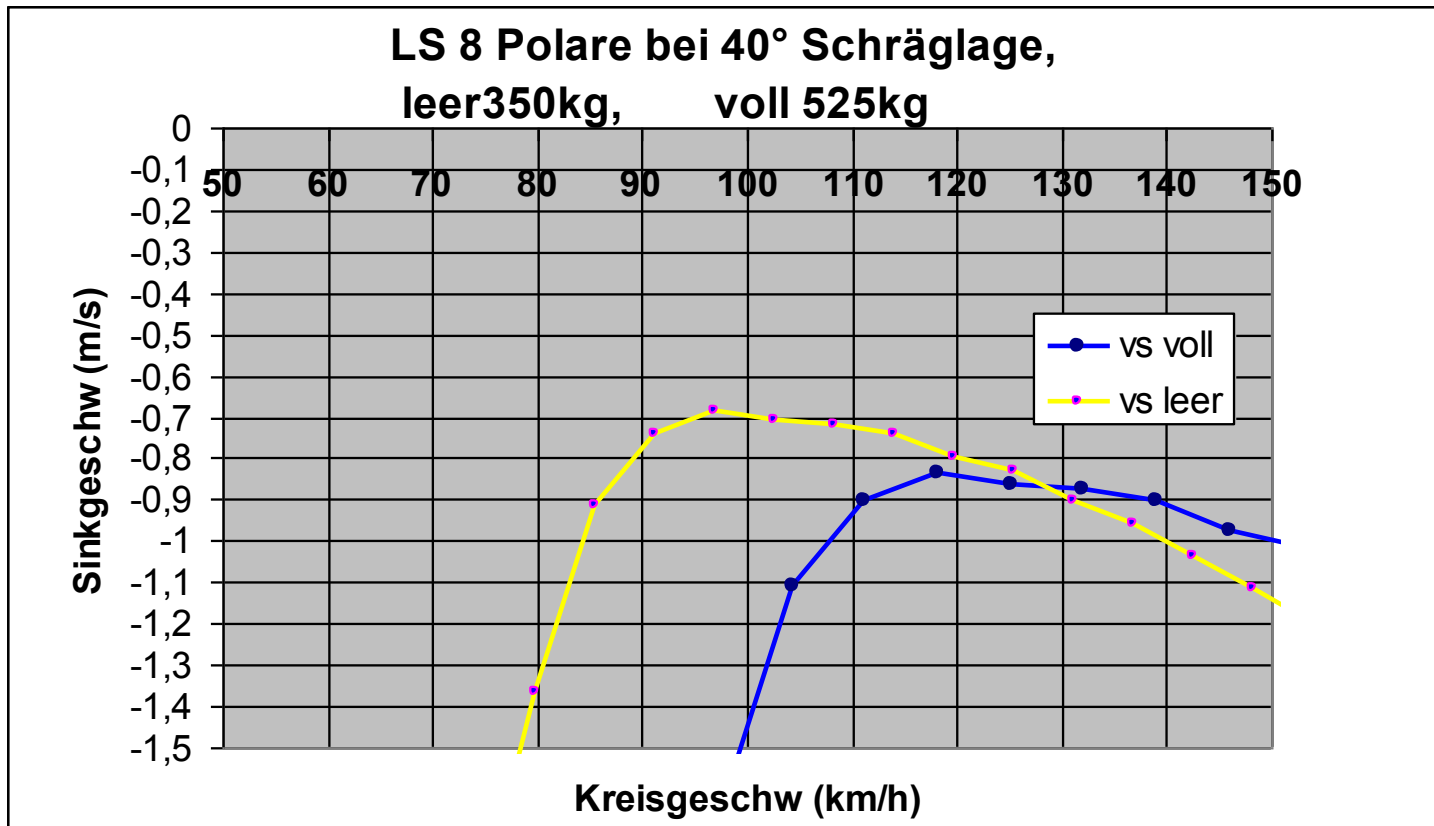
g : Erdbeschleunigung

Beispiel 40° Schräglage



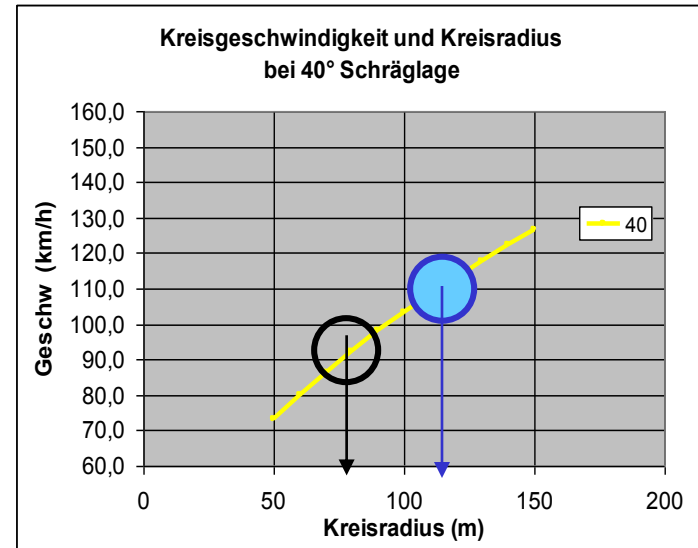
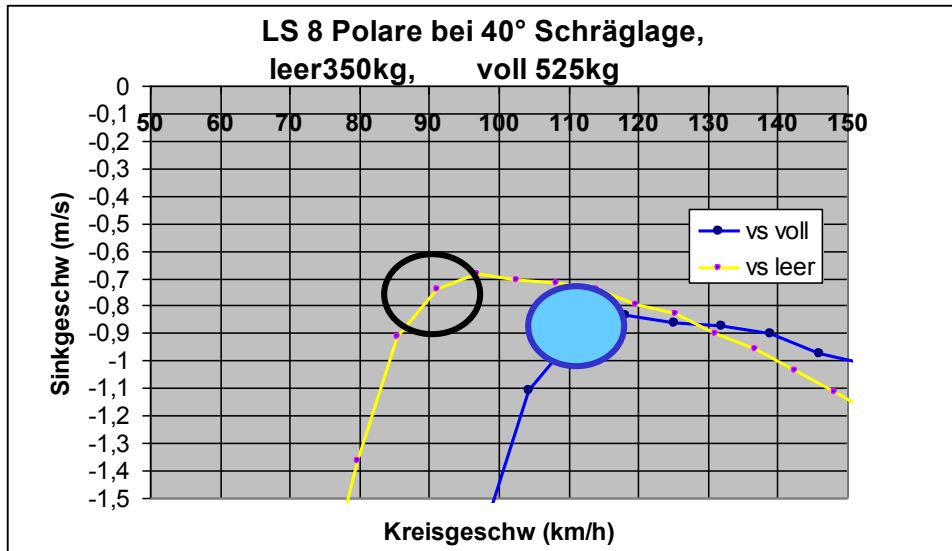
Kurvenflug mit Wasserballast

Beispiel: Polare LS8, bei 40° Schräglage



Kurvenflug mit Wasserballast

Beispiel: Polare LS8, bei 40° Schräglage



leer mit ca 90 km/h, Sinken 0,8m/s Kreisradius ca 75m
voll mit ca 110km/h Sinken 0,9m/s Kreisradius ca 115m

Kurvenflug mit Wasserballast

Thermikmodelle

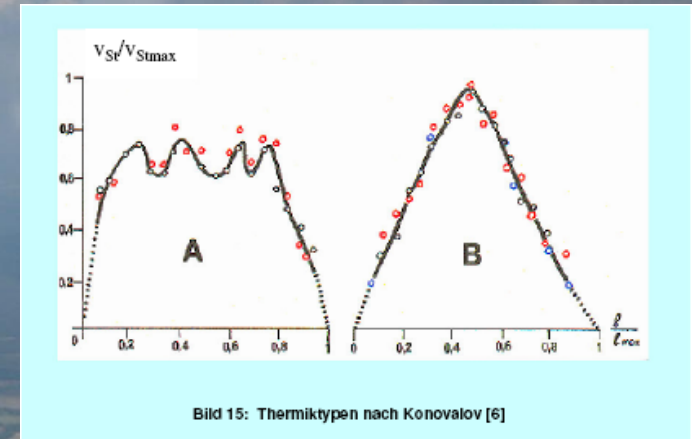
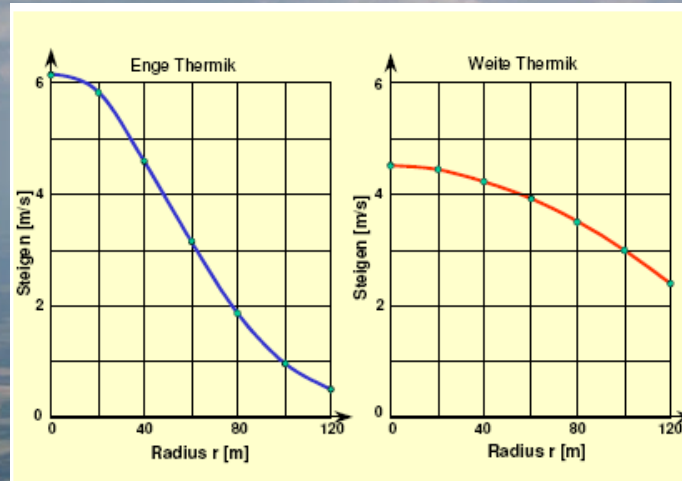
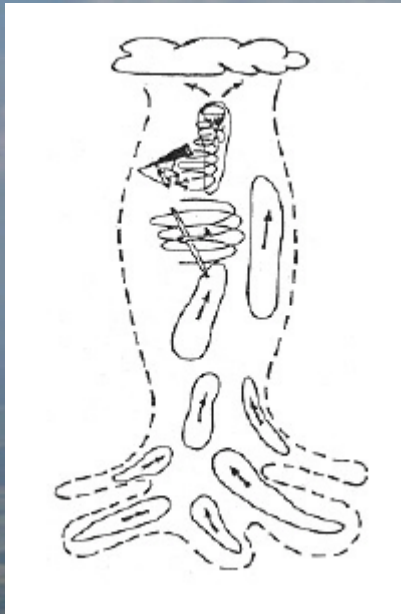
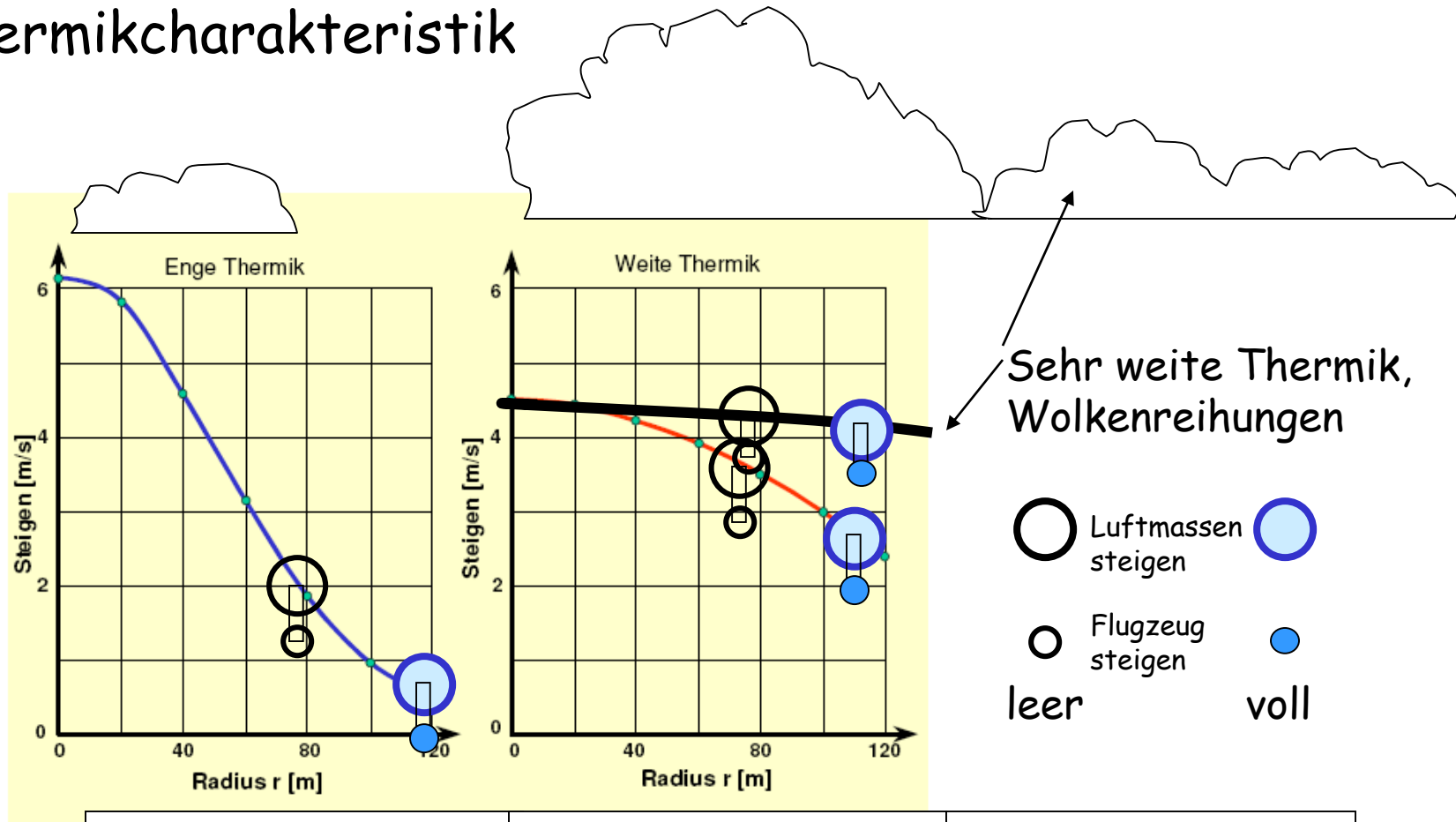


Bild 15: Thermiktypen nach Konovalov [6]

Kreisen mit Wasserballast Thermikcharakteristik



enge Thermik:
 leer ca 1,2m/s; $(2-0,8)_{m/s}$
 voll ca 0,0m/s !

weite Thermik:
 leer ca 2,8m/s $(3,6-0,8)_{m/s}$

Wolkenreihungen:
 leer ca 3,6m/s
 voll ca 3,5m/s

Kreisflugpolare

Beispiele : Kreisflugpolaren ASW 15, ASW 24

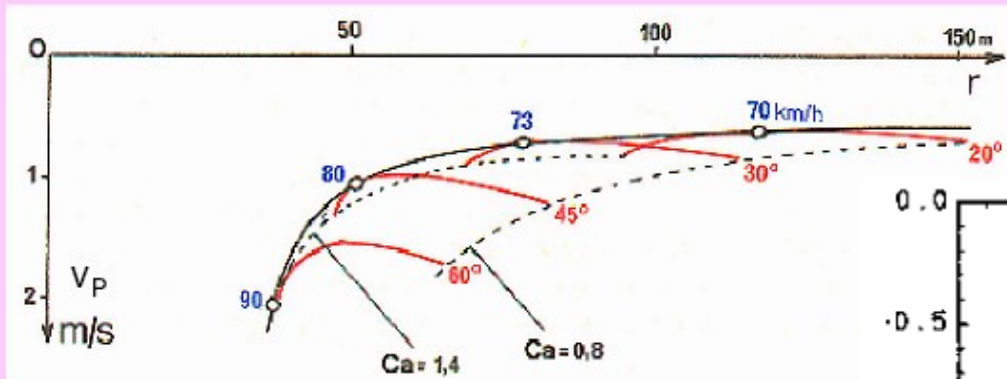
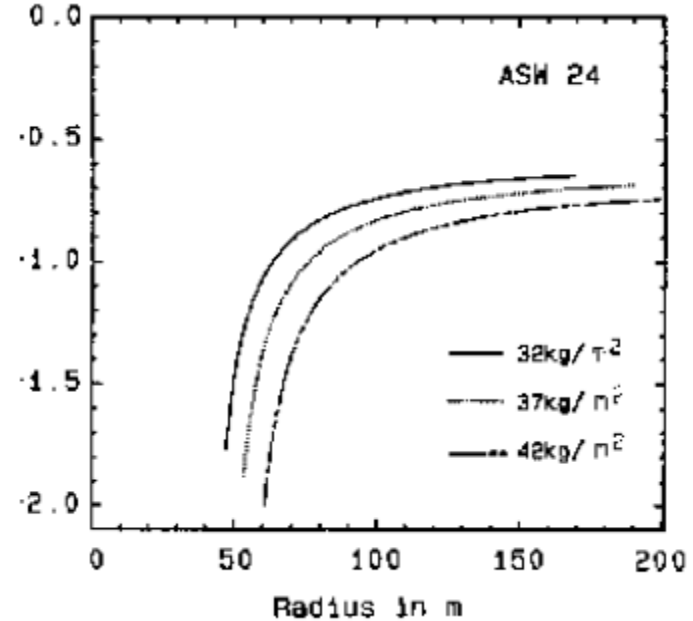
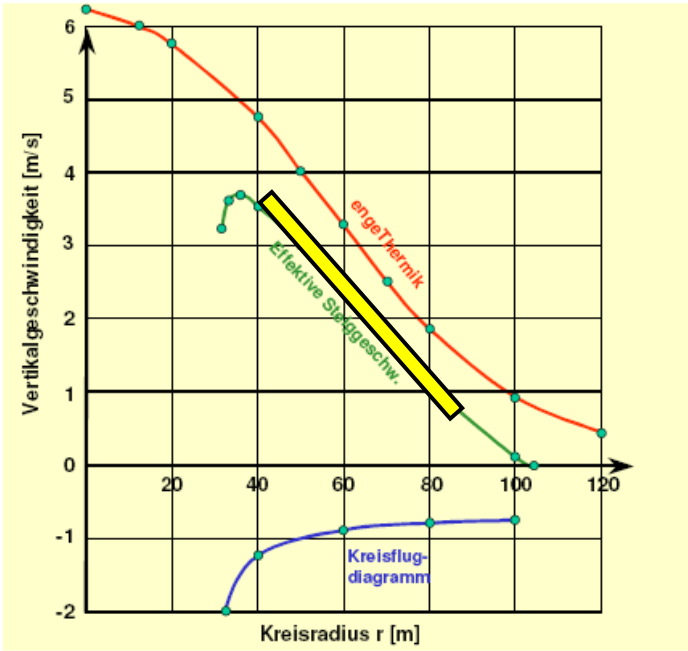


Bild 19: Kreisflugpolare der ASW 15 als Einhüllende der Querneigung



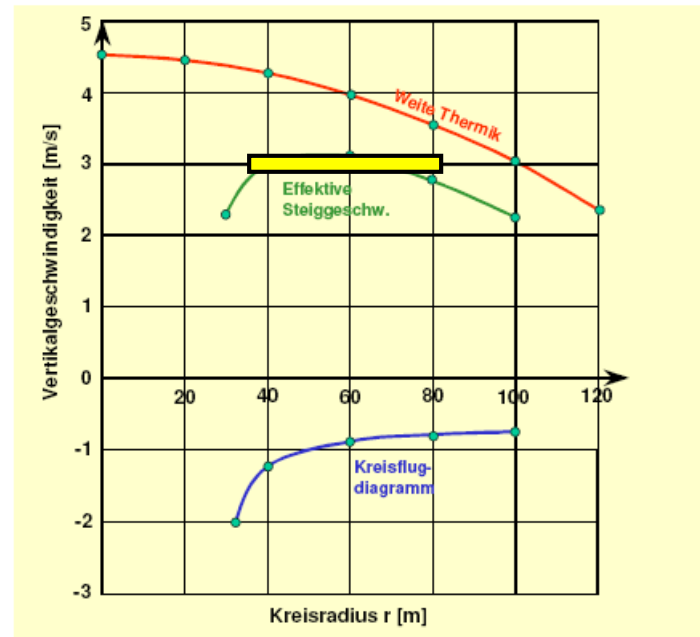
Segelflugzeug mit Wasserballast

Thermikart, Einfluß des Kreisradius



enge Thermik

=> eng Kreisen



weite Thermik

=> eng Kreisen kein Vorteil

=> höher Geschwindigkeit möglich

Fliegen mit Wasserballast

- Theorie, flugmechanische Zusammenhänge
 - Gleiten
 - Kurvenflug
- Bauliche Maßnahmen
- Flugpraxis
- Wettbewerbstaktik



Flächenbelastungen von Segelflugzeugen

Gewichtvariation

1,3 - 1,7

Flächenbelastung

bis max 60

Flächenbelastungen

	min	max	Gewichtvariation
Motorflugzeug	80	110	

Offene	Eta	38	50	32%
	ASH25	34	46	35%
	Nimbus3	28	44	57%

18m	ASG29 18m	33	57	73%
	LS6 18m	32	46	44%
	DG800 18m	32	46	44%
	ASH26E 18m	37	45	22%

15m	ASG29 15m	37	59,8	62%
	ASW27	33	55,6	68%
	Ventus 2	30,5	54	77%
	LS6	34	50	47%
	Diana	29	50	72%
	DG800 15m	38	50	32%

Standard	Discus	29,5	49,5	68%
	DG300,LTA	31	51	65%
	LS8	32	50	56%

Club	ASW15	28	37	32%
	LS1	33	40	21%
	Std Cirrus	29	39	34%
	DG100	28	38	36%
	ASW19	30	37	23%

ASK21	26	31	19%
Ka6	24		
Pirat	24		

Delta Gleiter	7	8	
Gleitschirm	3	4	

Fliegen mit Wasserballast

- Theorie, flugmechanische Zusammenhänge
 - Gleiten
 - Kurvenflug
 - Bauliche Maßnahmen
- Flugpraxis
- Wettbewerbstaktik



Fliegen mit Wasserballast

Flugpraxis

Blauthermik,
niedrige Basis

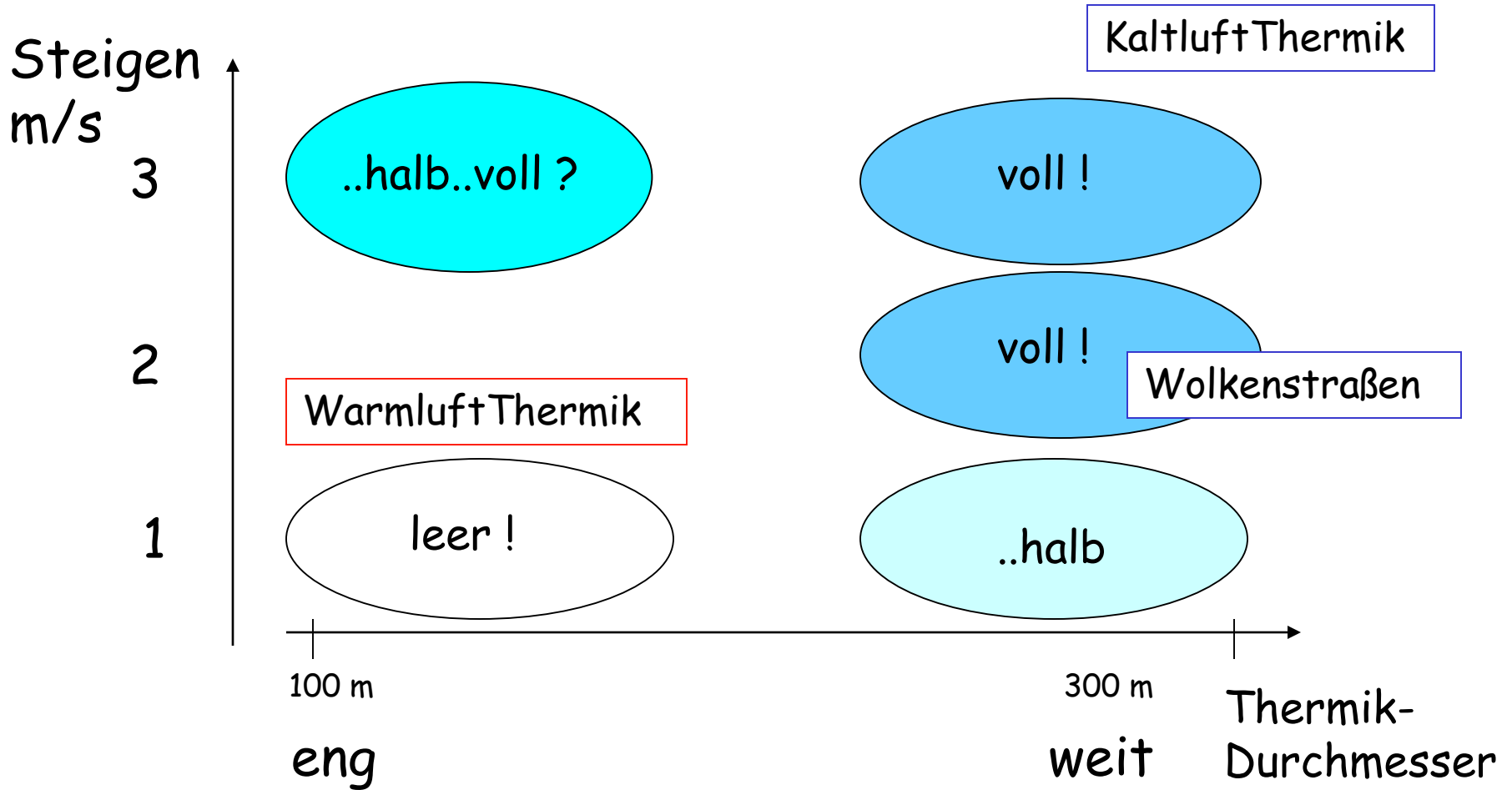


...Hammerwetter



Wieviel Wasser tanken ?

.. an Thermikart anpassen : ..eng, weit, Reihungen



Kurbeln mit Wasserballast

Leer

thermikfühlig

dynamische Reaktion auf Steigböen, „Feder“

schnelles zentrieren auch bei Warmluftblasen

Voll

geringe Thermikfühligkeit

träge Reaktion, Rollwendigkeit „LKW“

langsames zentrieren

größerer Kreisdurchmesser, => Achtung im Pulk !

früheres Abkippen ! => Achtung im Pulk !

Bedarf der Übung !

Segelflugzeug mit Wasserballast

F-Schlepp

Träges Anschleppen,

geringe Ruderwirksamkeit !

Höhere Schleppgeschwindigkeit beachten !



Windenstart

Zuladung an Winden Leistungsfähigkeit anpassen (nur ..25-50% Wasser)

höhere Schleppgeschwindigkeit beachten !

vorsichtiger Übergang in den Steigflug

auf mäßige Seilkraft achten !

Seilriß => höhere Abkippgeschwindigkeit !!

Segelflugzeug mit Wasserballast

Flugvorbereitung, Tanken

..ist Übungssache,
..Bedarf der Vorbereitung
...kostet Zeit !

Landen, Absaufen

Wasser rechtzeitig ablassen !
ca 4-5 min !

Landen mit Wasser:
langen Ausrollweg beachten
=> Betriebshandbuch



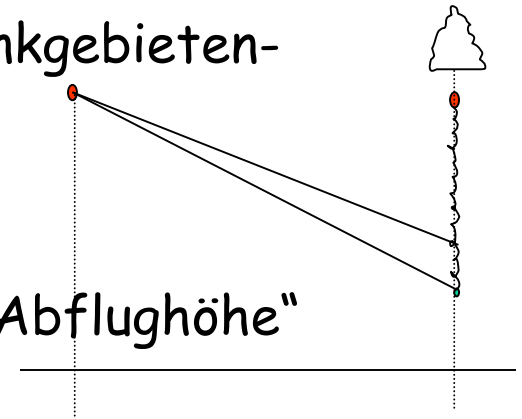
Wasserballast bei Wettbewerben



Wettbewerb

hohe Flächenbelastung

- schneller am nächsten Bart
- weniger Höhenverlust beim Durchqueren von Sinkgebieten-
- hoher Schnitt unter Wolkenreihungen



- Abflug: hohe potentielle Energie => größere „Abflughöhe“

- Taktik:..die Leichten markieren die Bärte

und müssen zuerst wieder an der Basis abfliegen

- die Schweren können komfortabel einholen
und kommen höher an

-..nicht im Pulk oder auf andere ablassen..



Fliegen mit Wasserballast



..viele erfolgreiche Flüge
und sichere Landungen