

”Solfahrtteori”

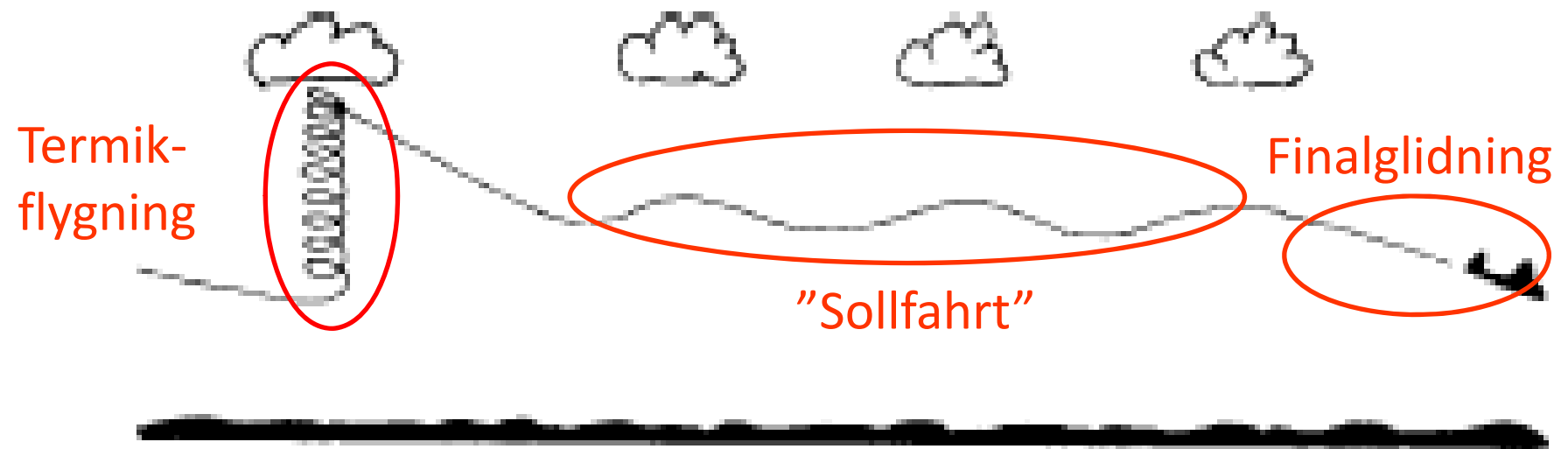


Historik, teori och praktiska råd

DFS Reiher

Robert Danewid

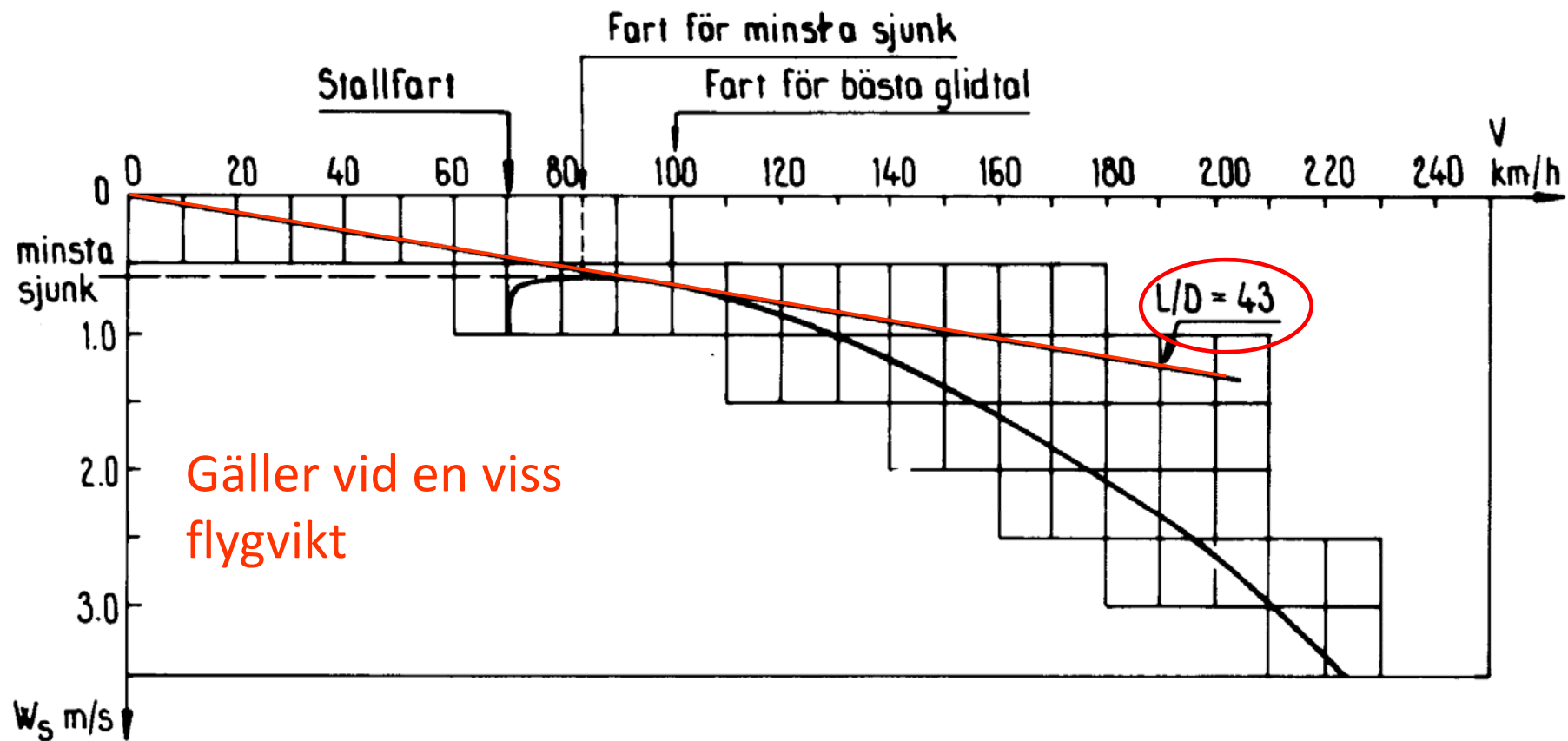
Kursen behandlar grundläggande teori och historik om

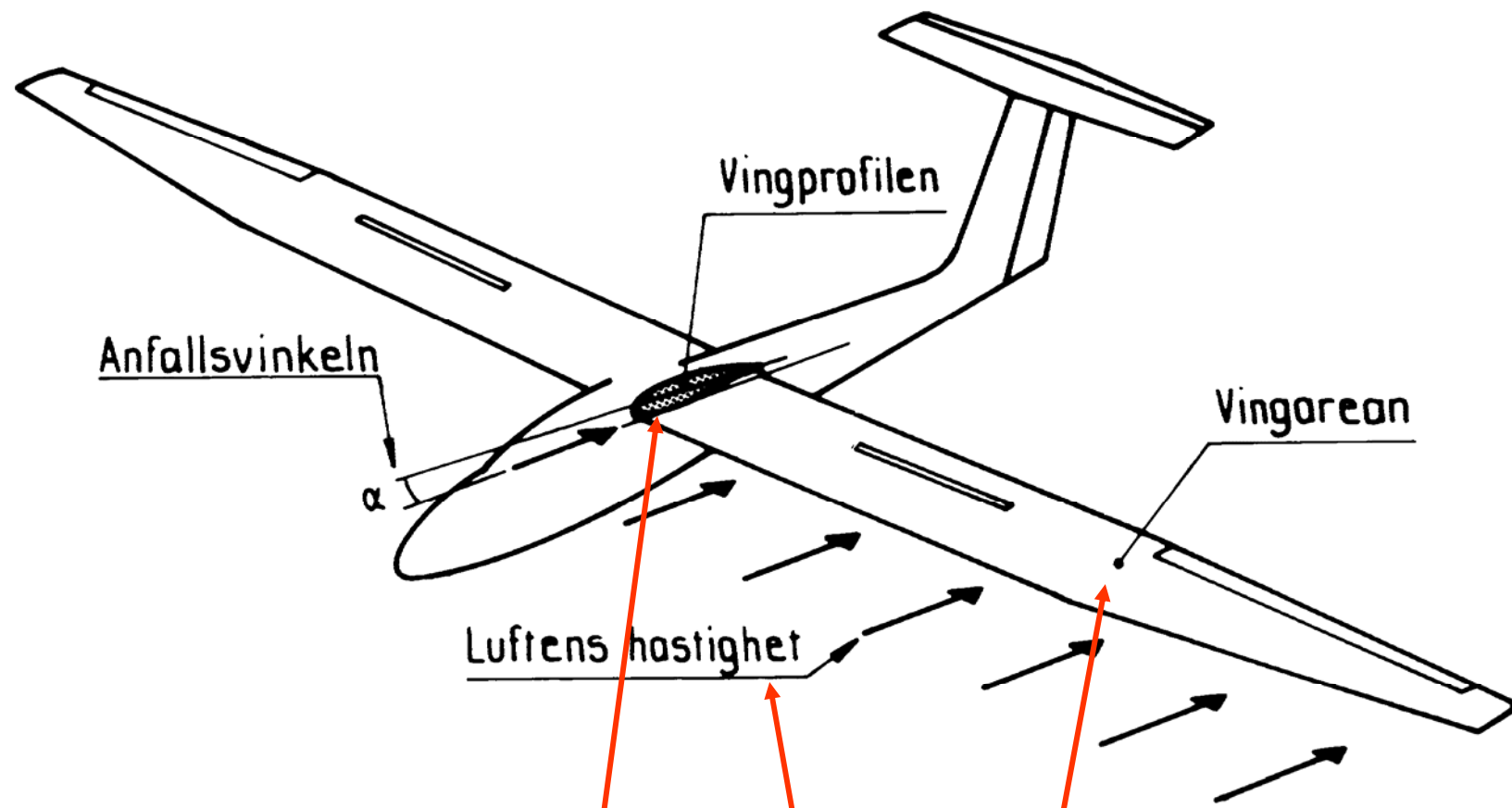


Blandat med
praktiska tips

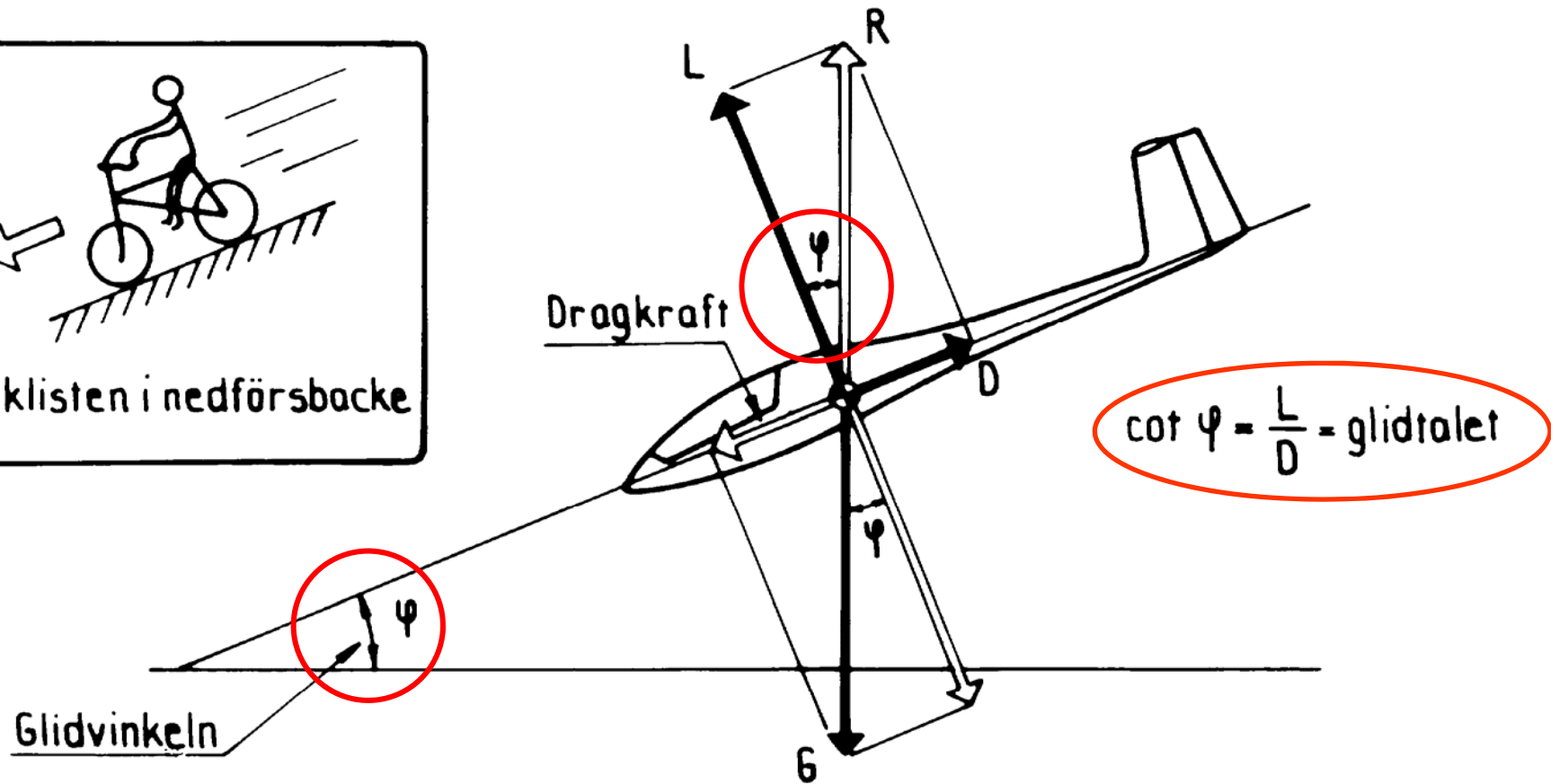
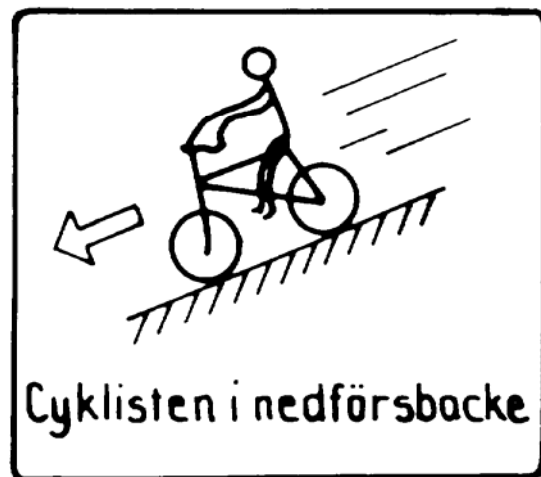
Polarkurvan

prestandakurvan

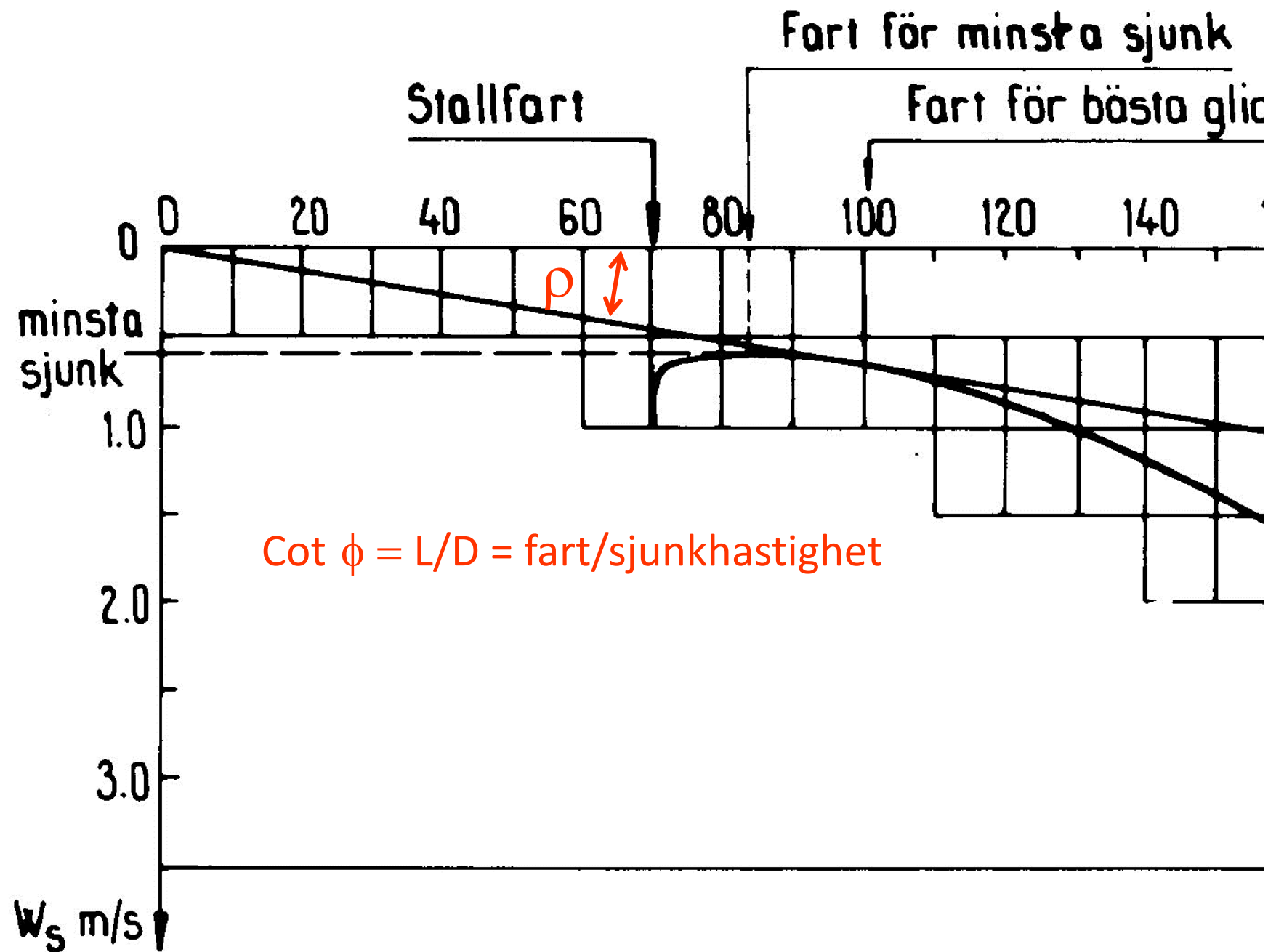


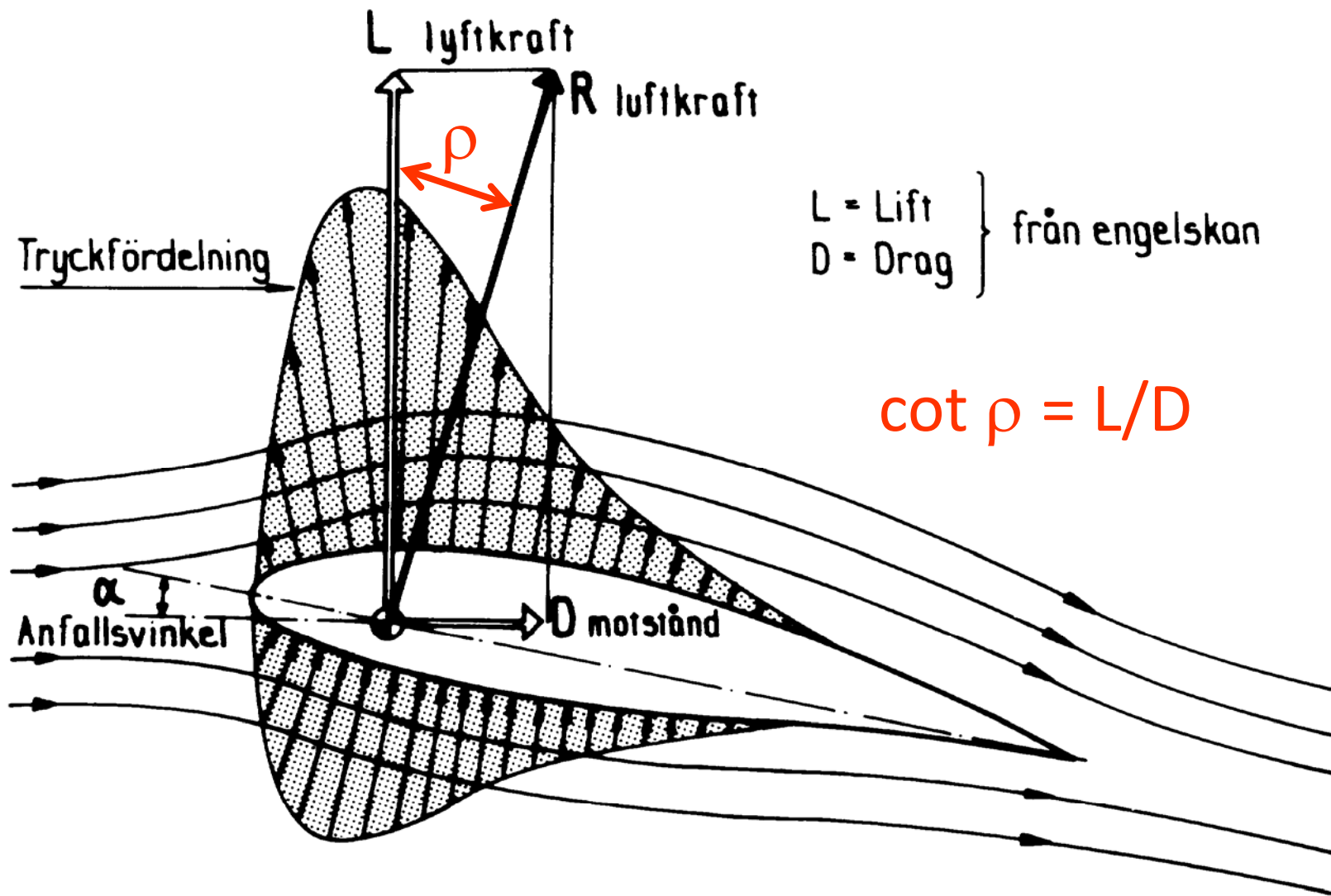


$$\text{Lyftkraften } L = C_L * r * V^2/2 * S$$



Min ρ = bästa glidtal, t ex 40 i glidtal ger $\rho = 1.4$ grader





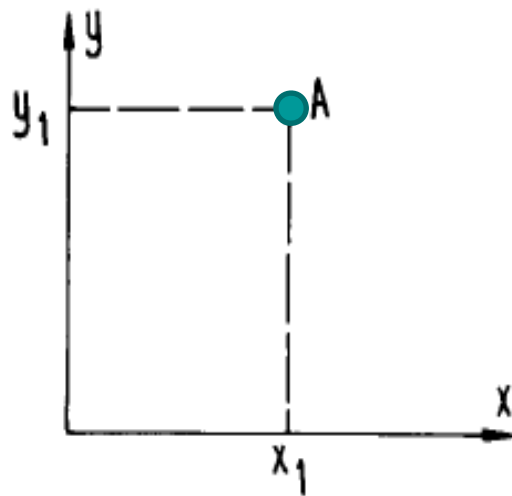
Glidtalet kan t ex skrivas som

Lyftkraft/motstånd L/D

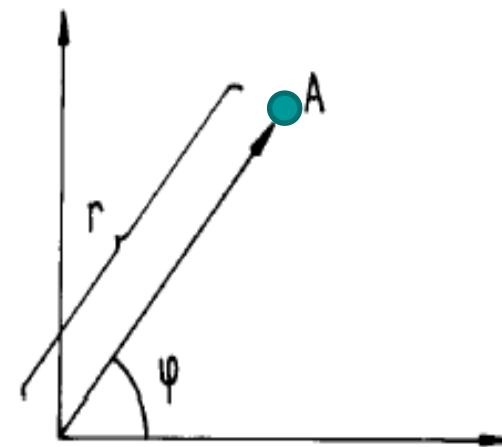
fart/sjunkhastighet V/W_s

flugen distans/höjdförlust

Varför heter det **polarkurva**?

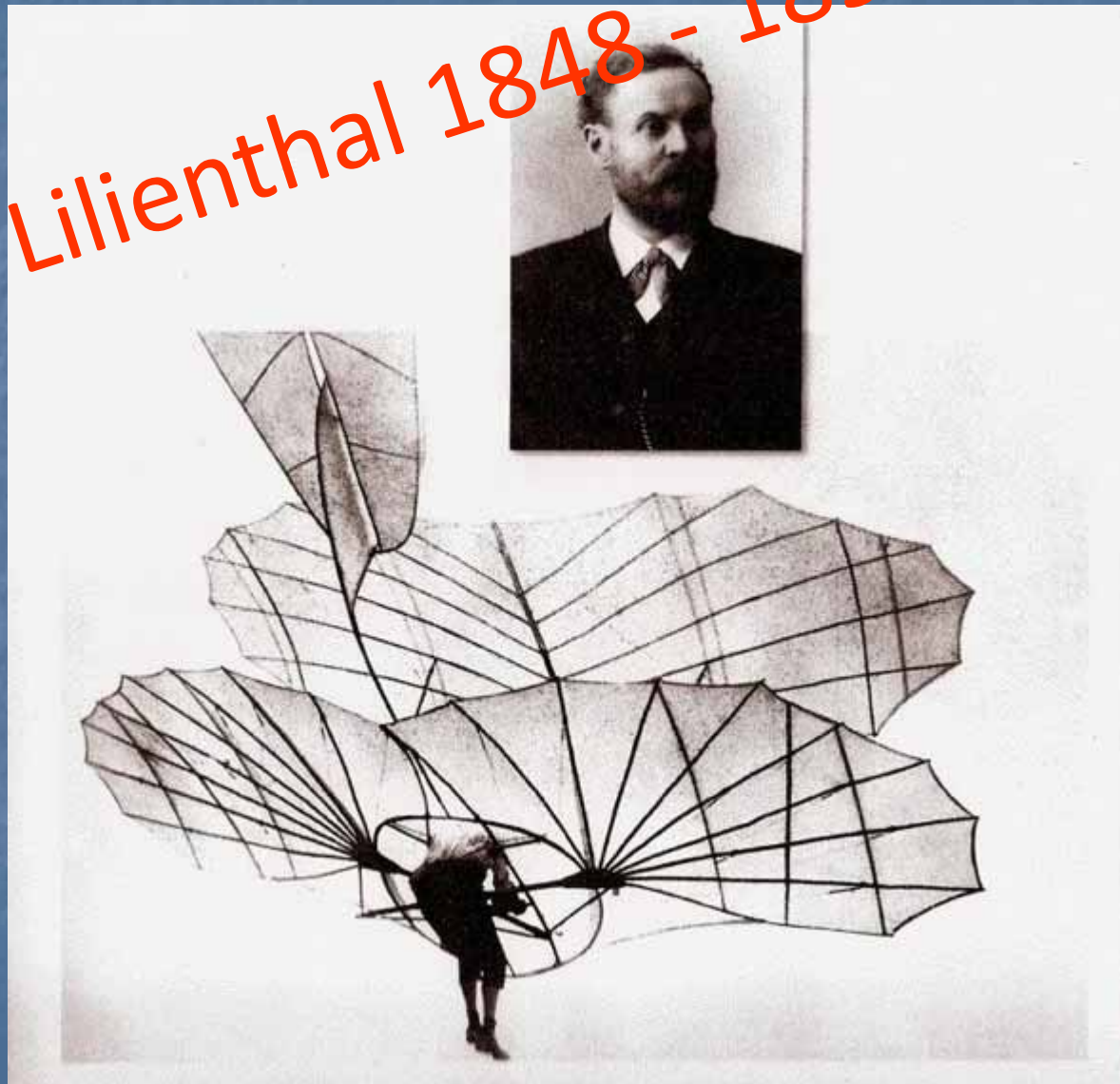


a, Kartesiska koordinater.
Punkten A:s koordinat är (x_1, y_1)

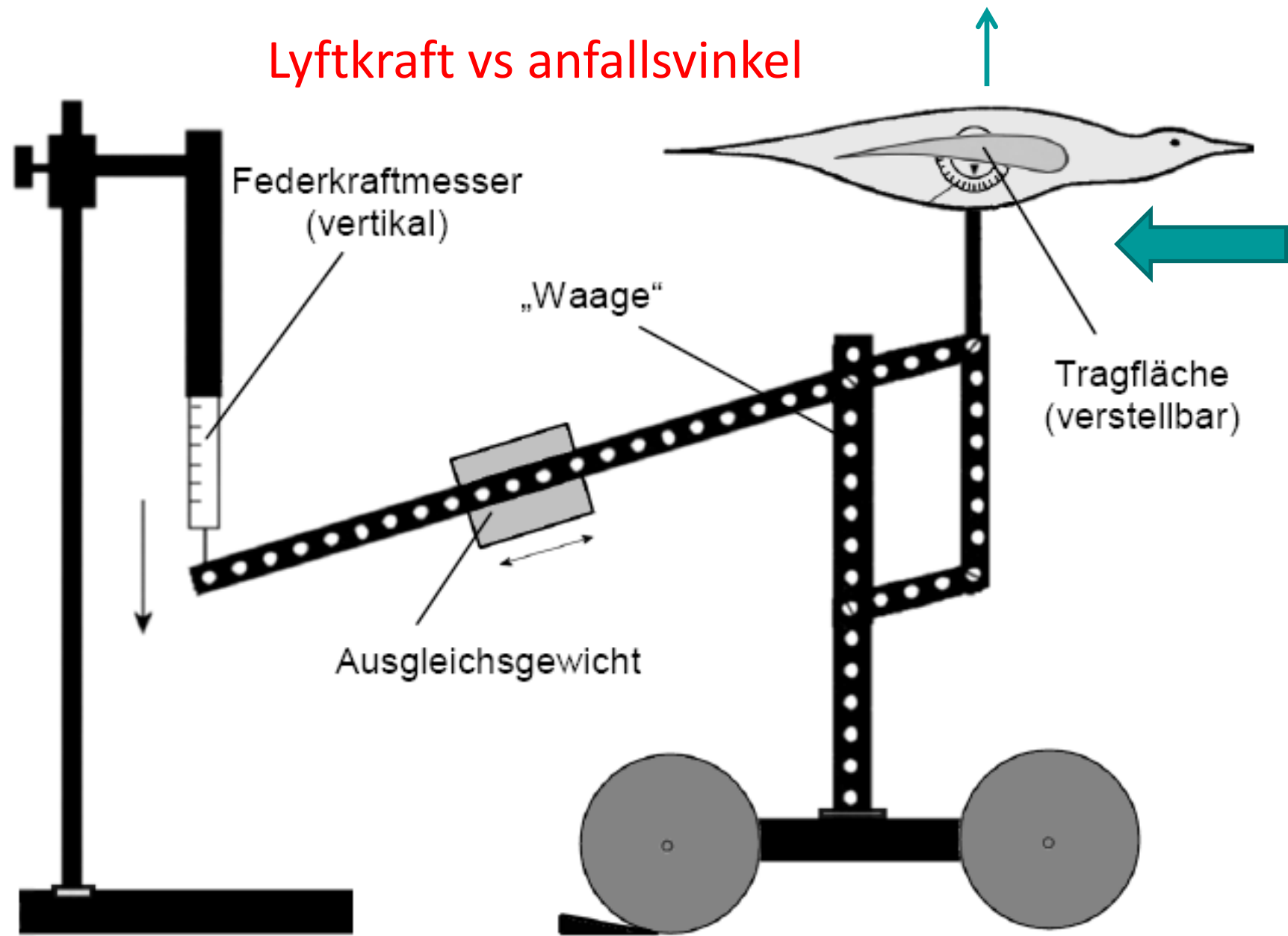


b, Polära koordinater.
Punkten A:s koordinat är (r, φ)

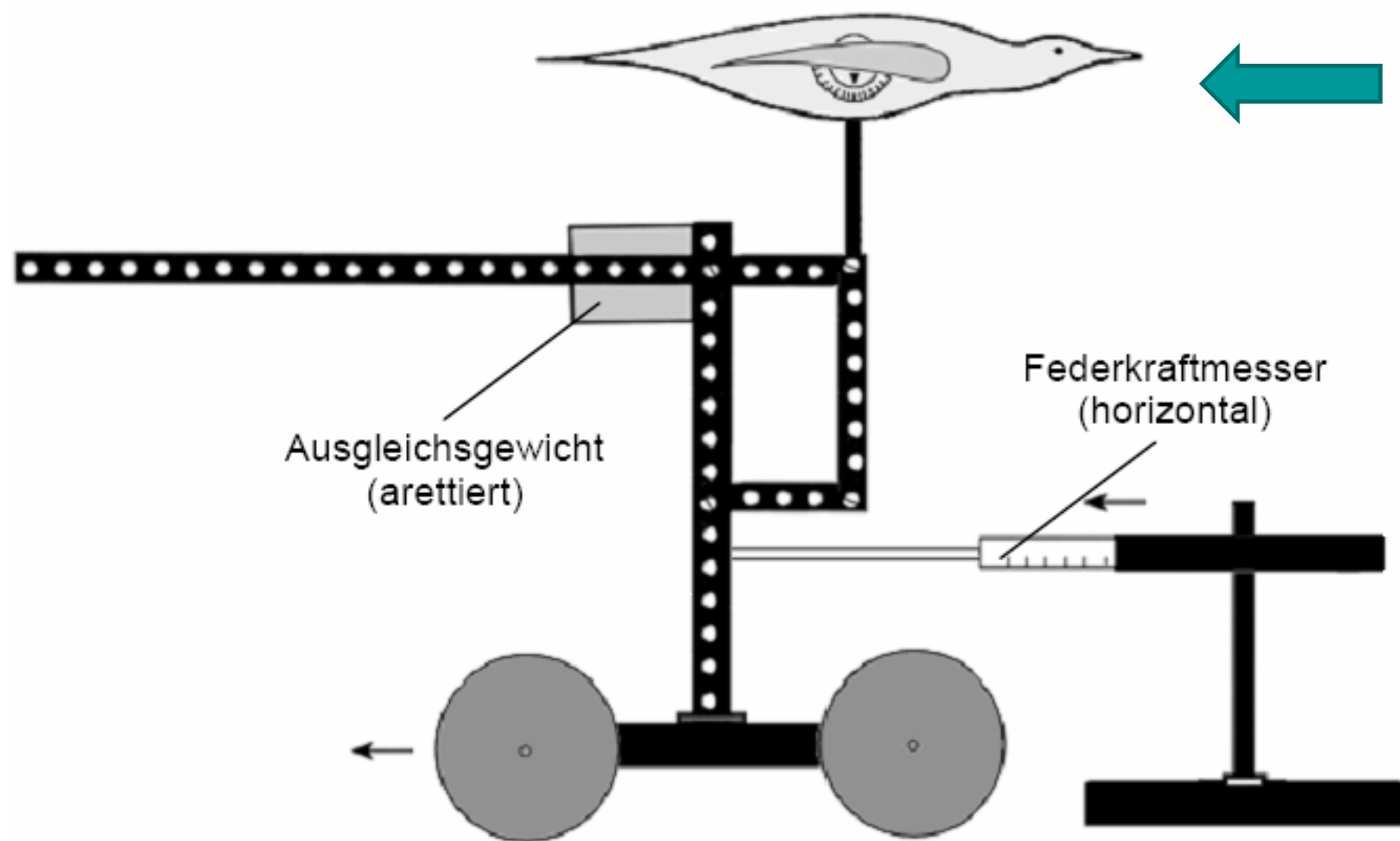
Otto Lilienthal 1848 - 1896



Lyftkraft vs anfallsvinkel



Motstånd vs anfallsvinkel



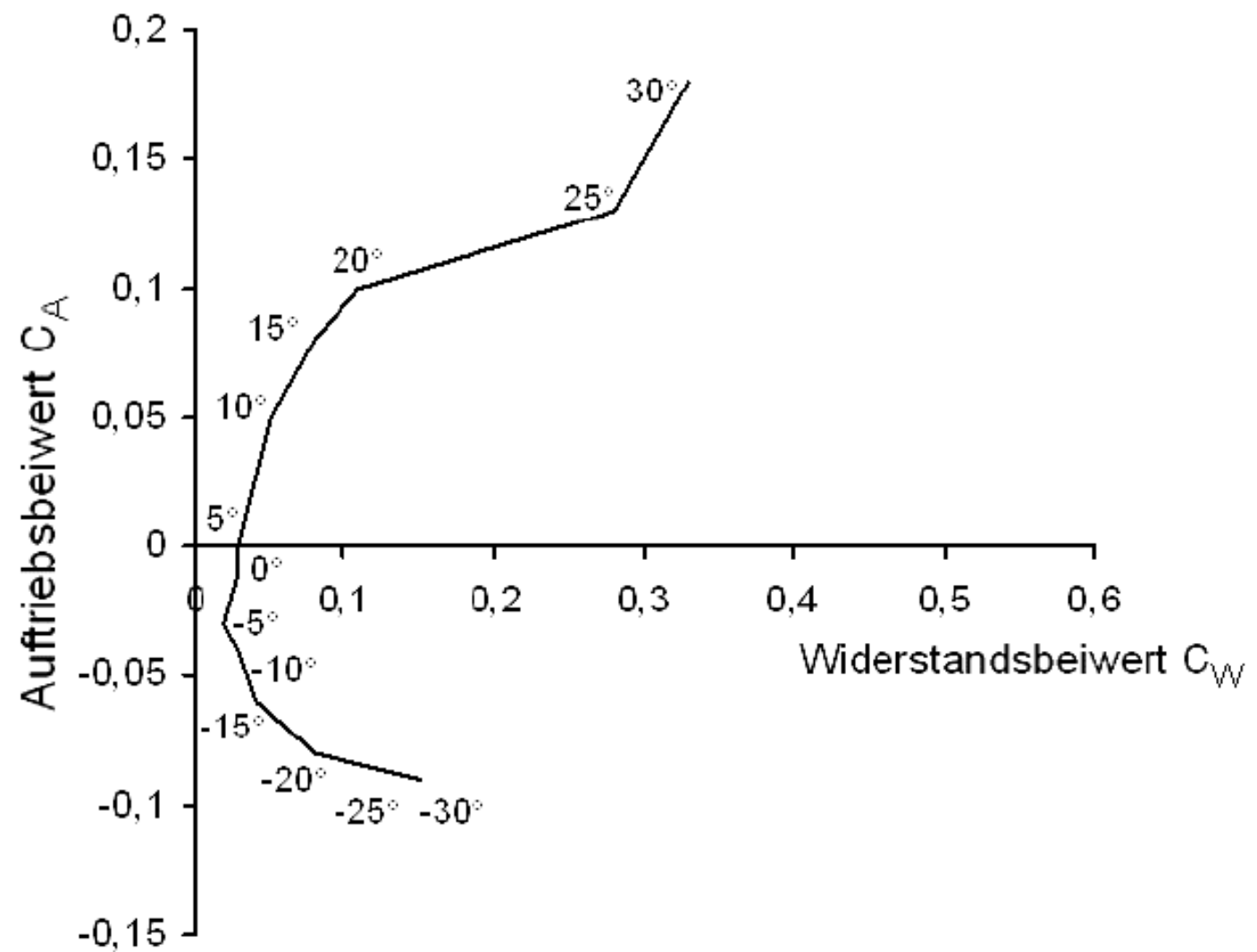
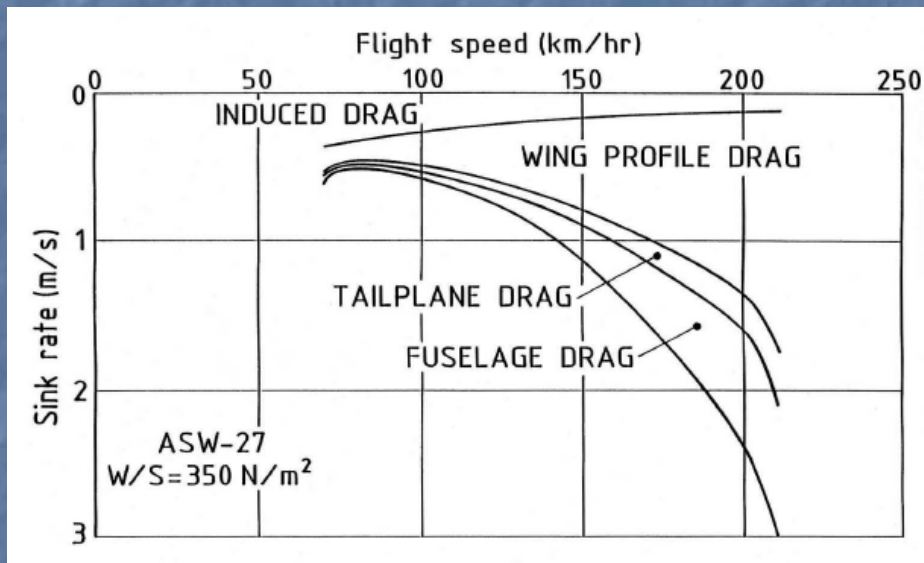
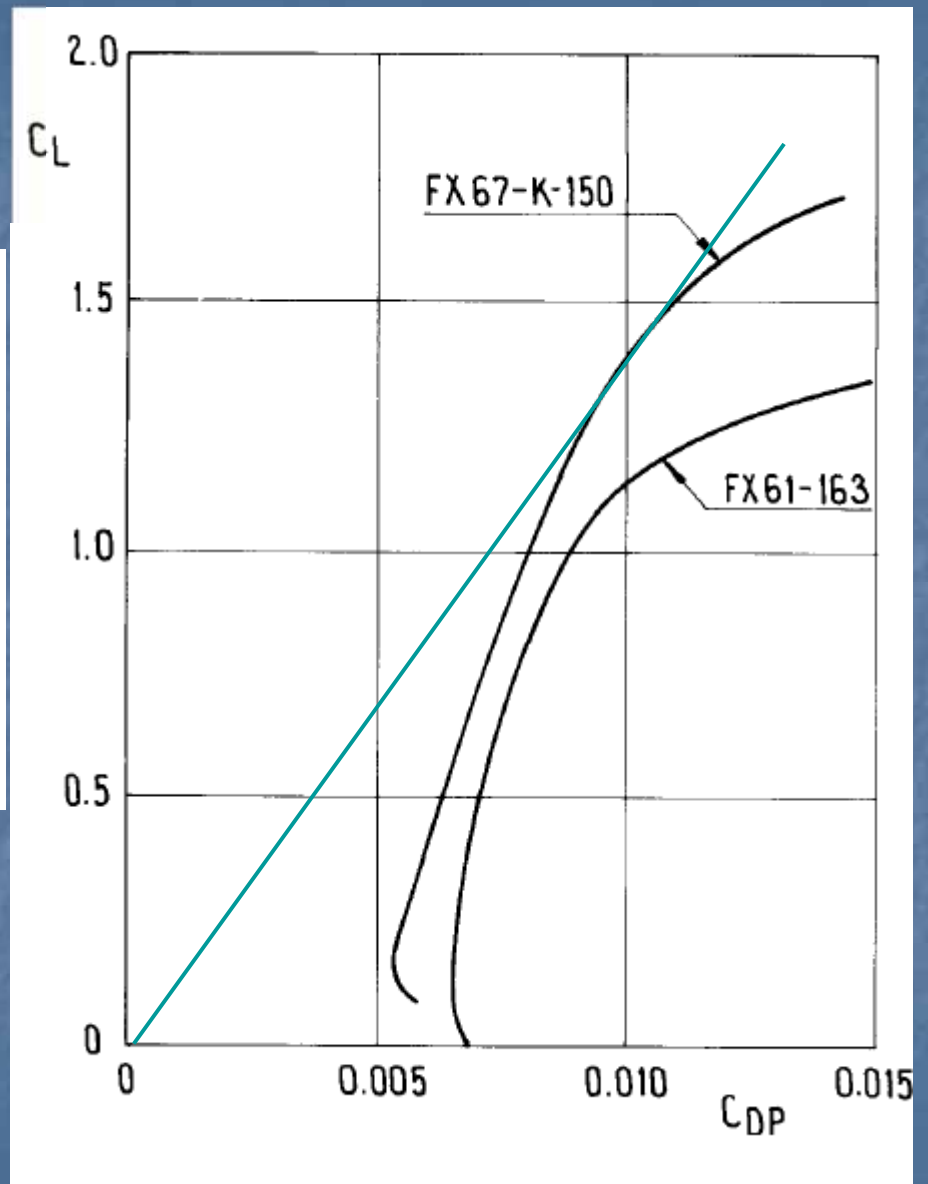


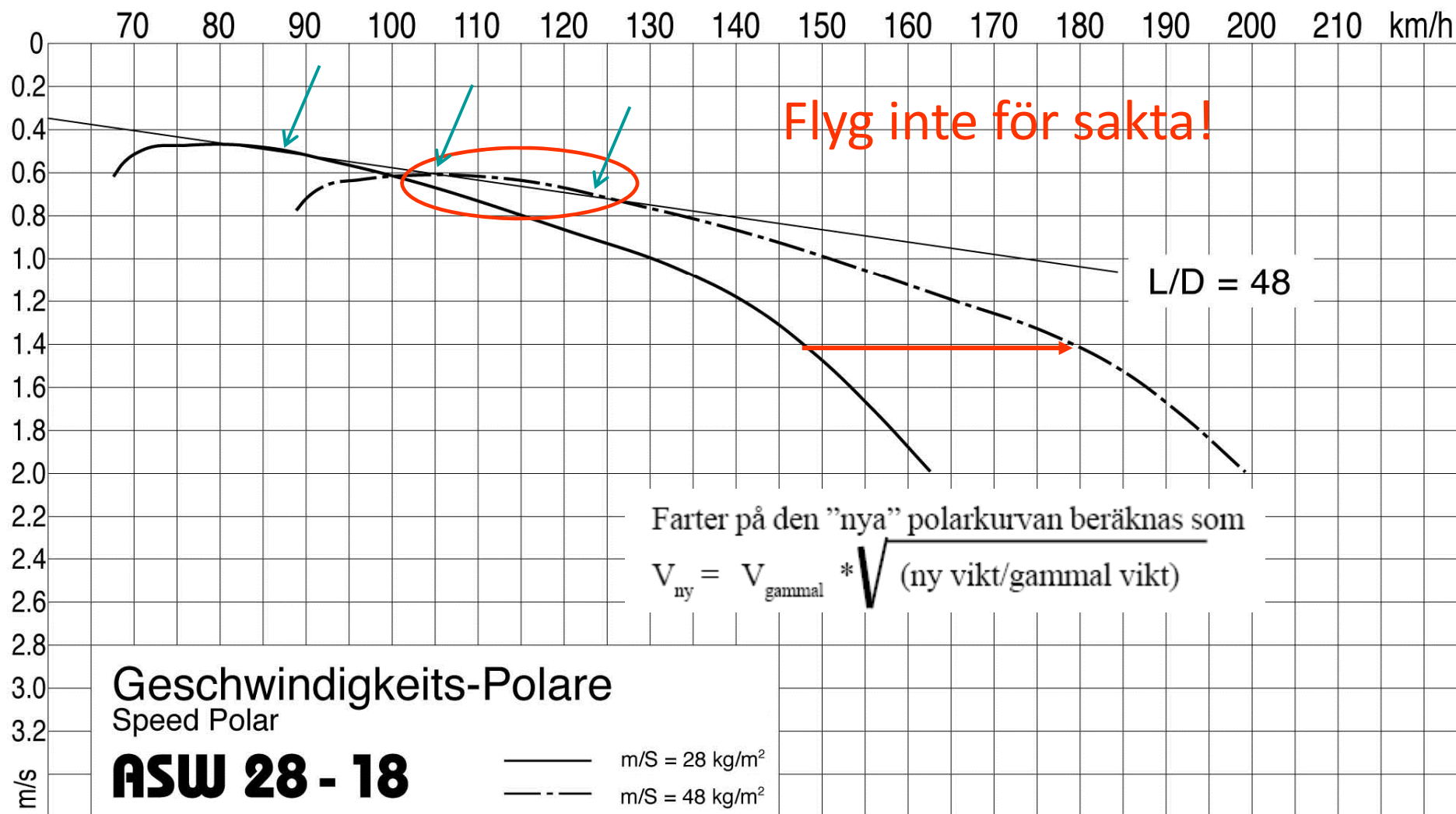
Abb. 2: Lilienthal'sches Polardiagramm

Var rädd om vingen! Tvätta och vaxa

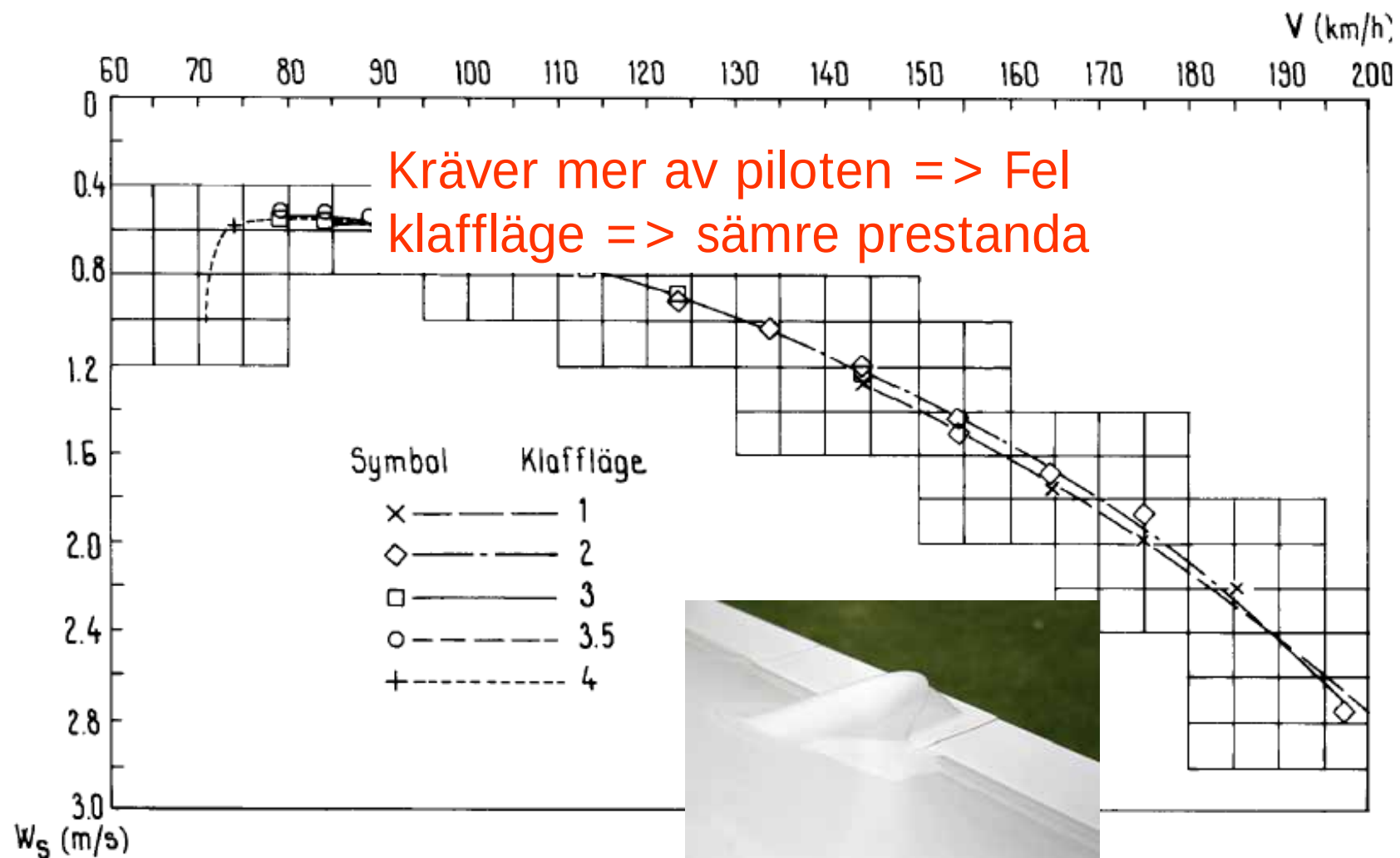


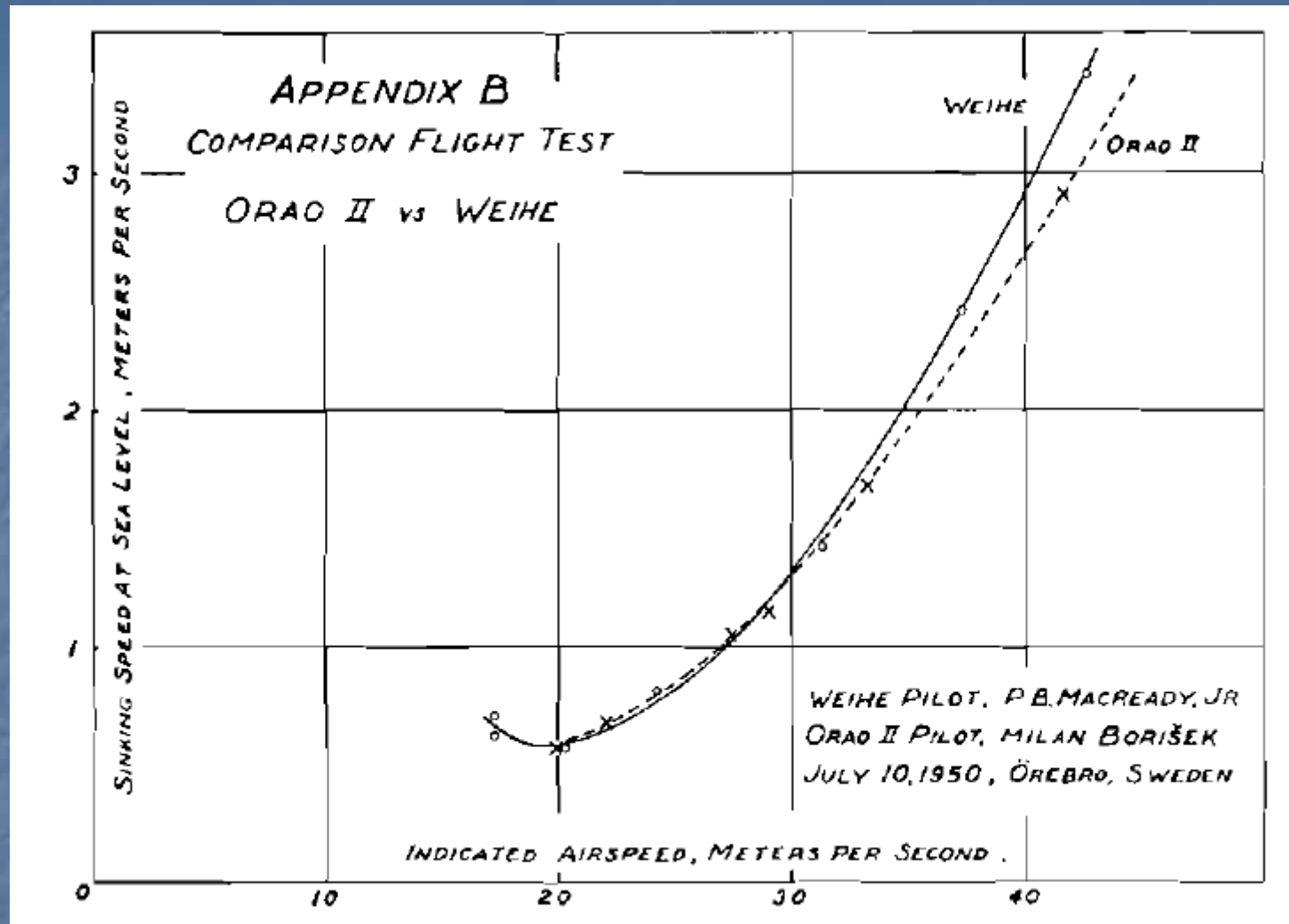
$$L/D = C_L/C_D$$





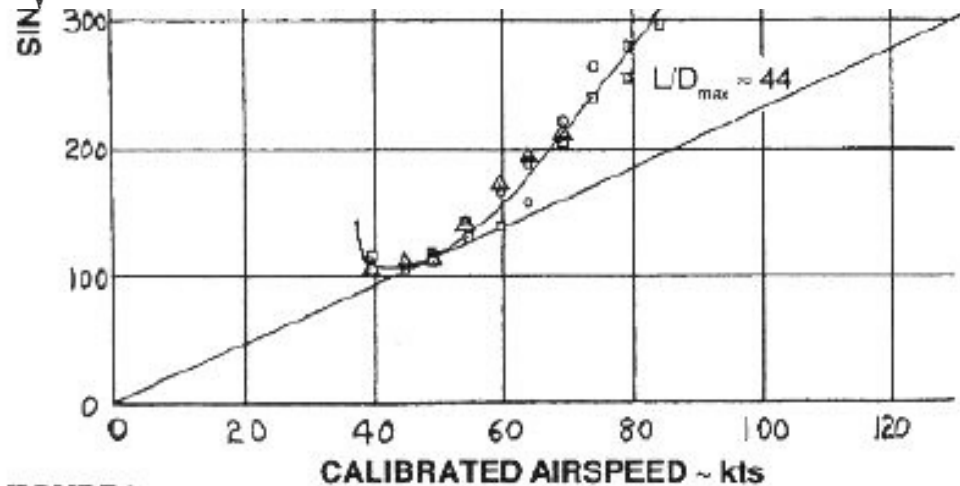
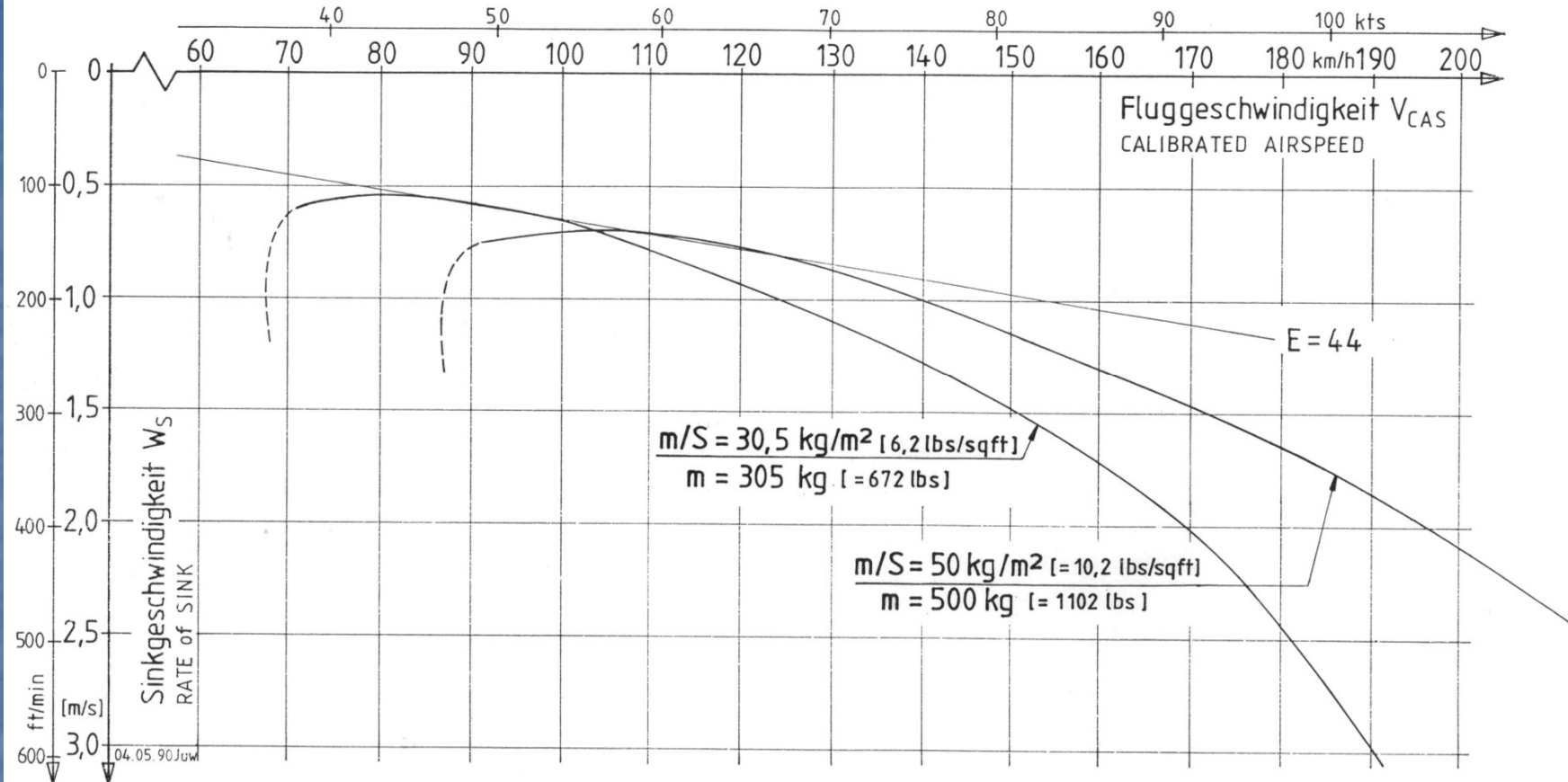
Polar för ASW 20 (klaff)





Dick Johnson 1950

ASW 24 Flugleistungspolaren









"Solfahrtflygning"



?

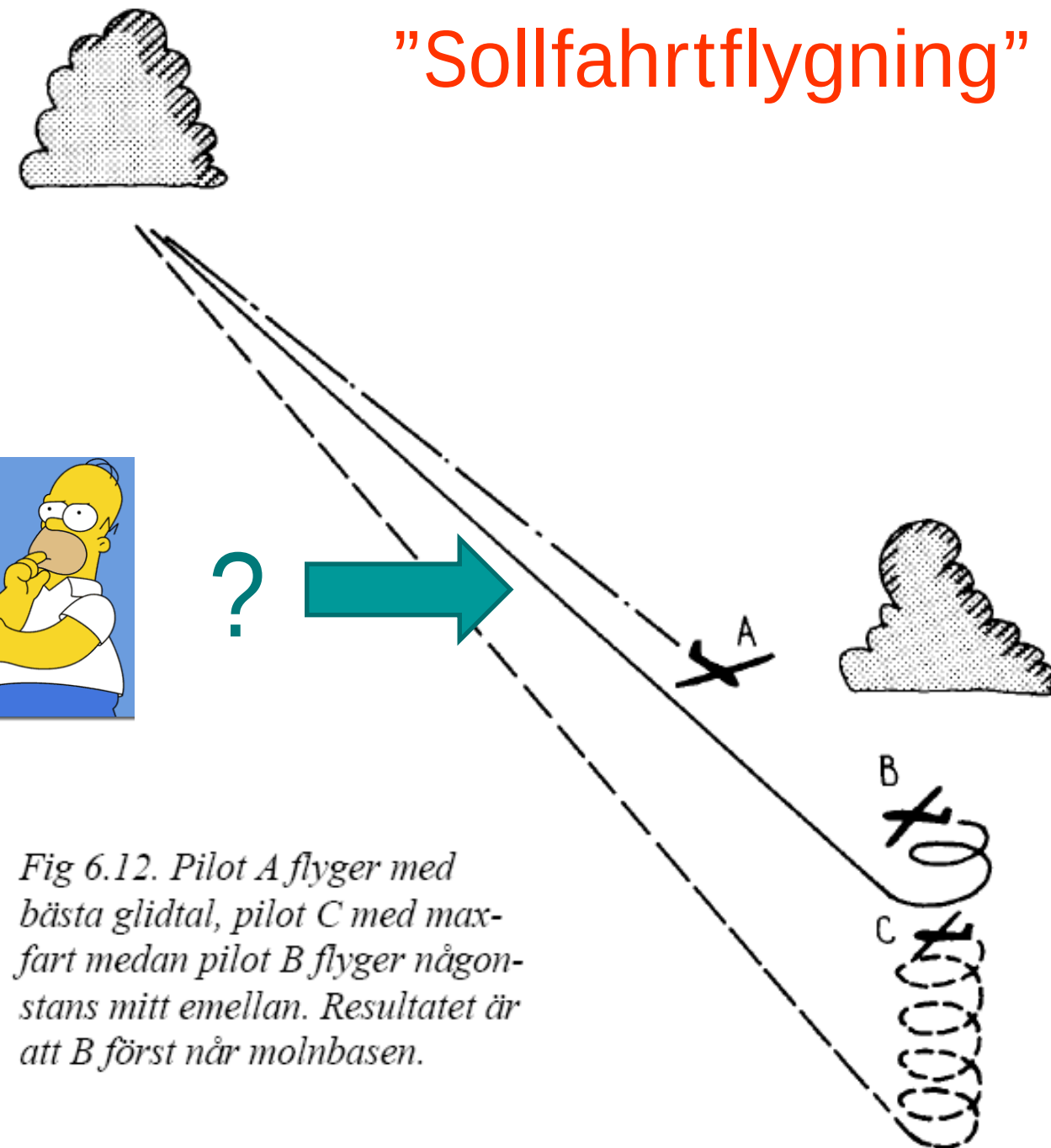


Fig 6.12. Pilot A flyger med bästa glidtal, pilot C med max-fart medan pilot B flyger någonsans mitt emellan. Resultatet är att B först når molnbasen.

LuftArchiv.de



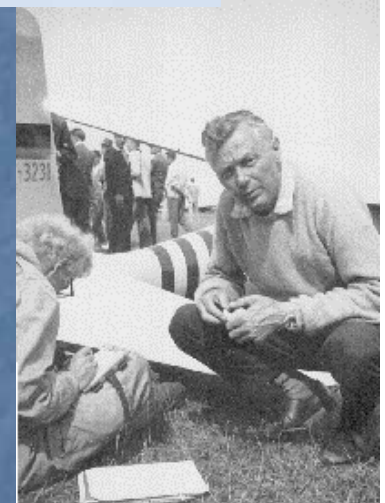
LuftArchiv.de



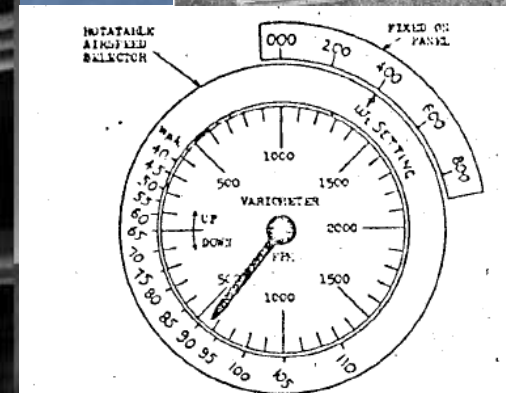
Wolfgang Späte
1938



Heinz Huth



Paul MacCready
1954



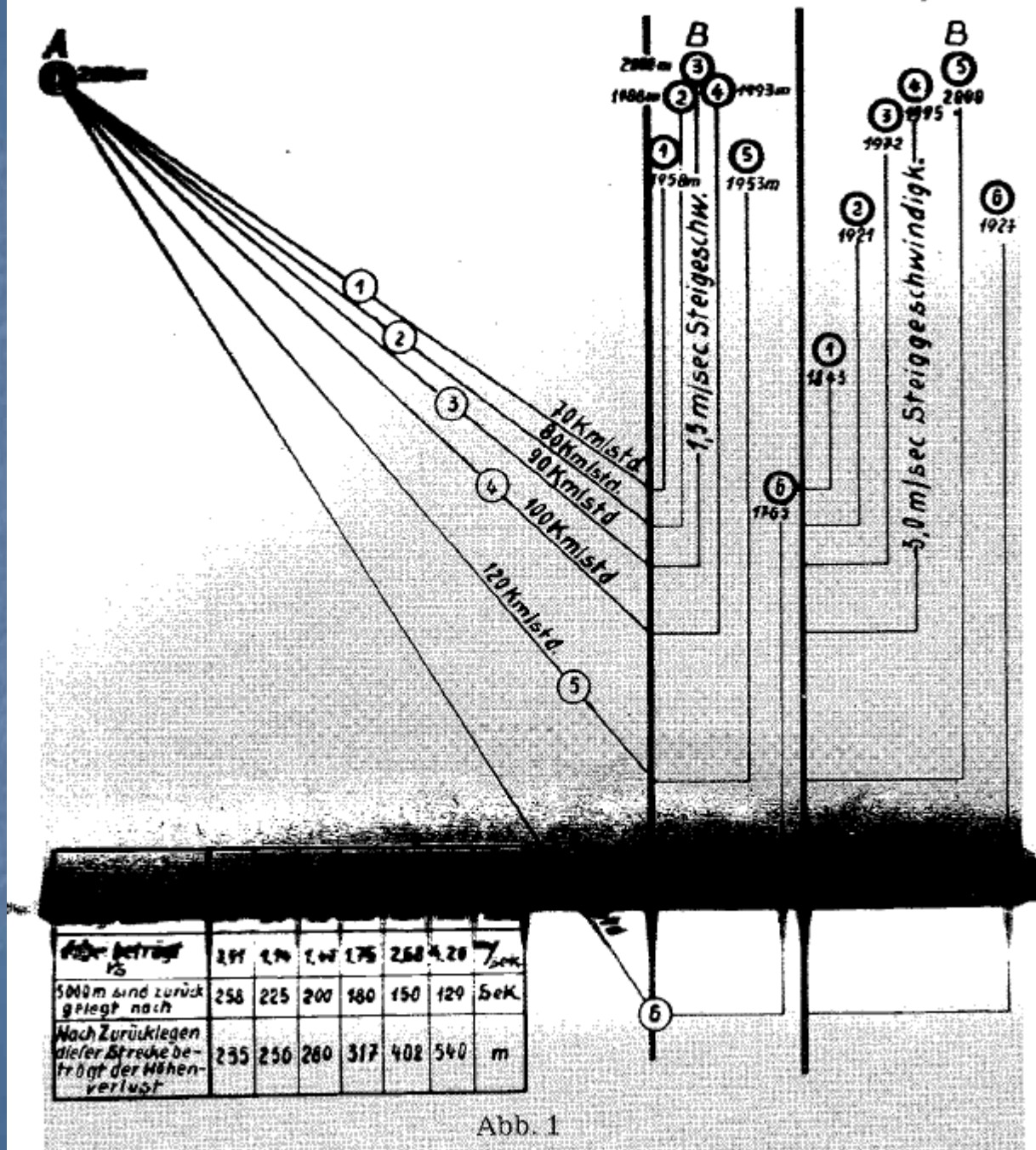
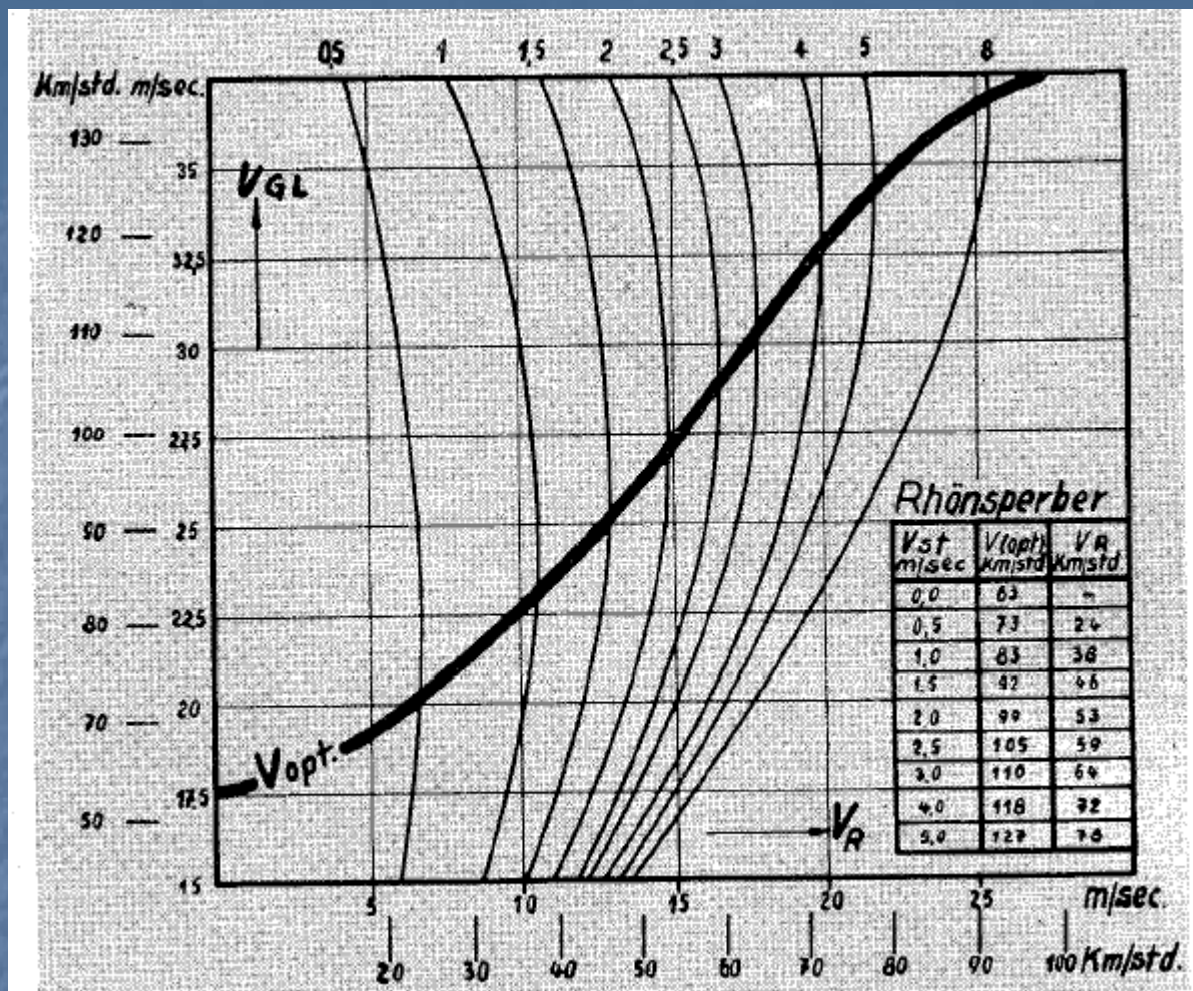
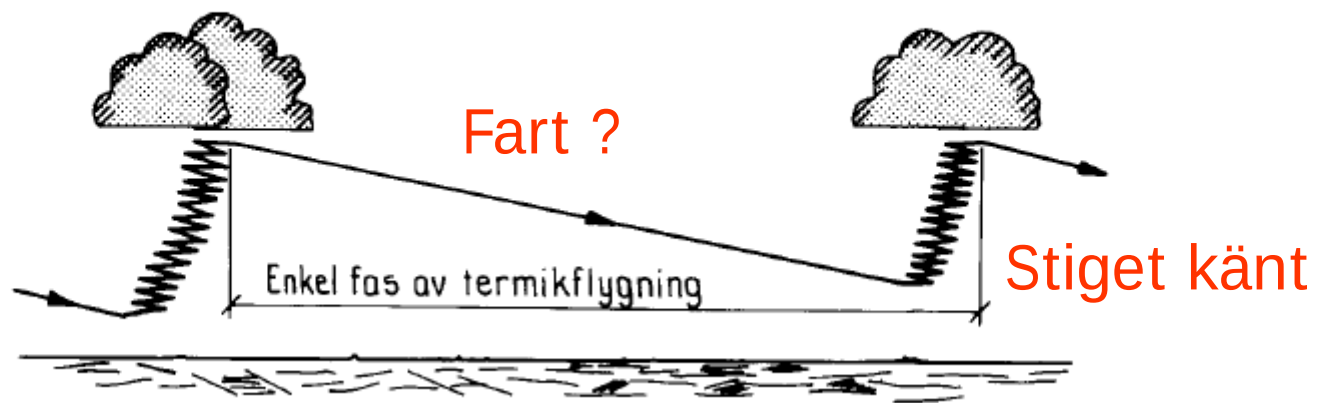


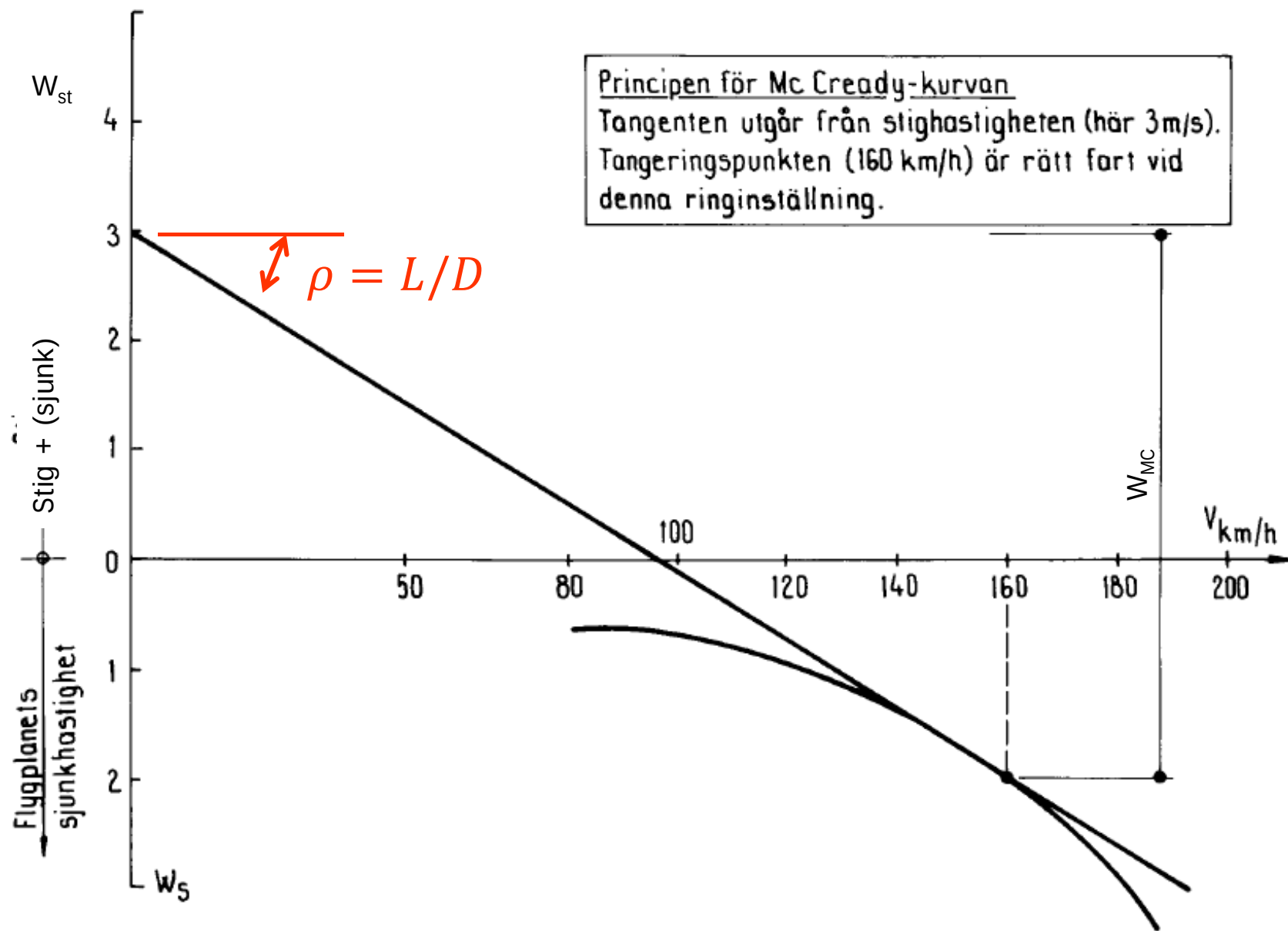
Abb. 1

Ur Spätes
original
uppsats

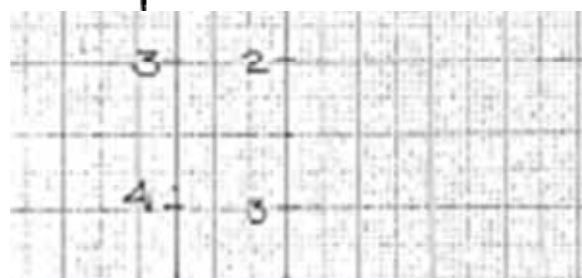
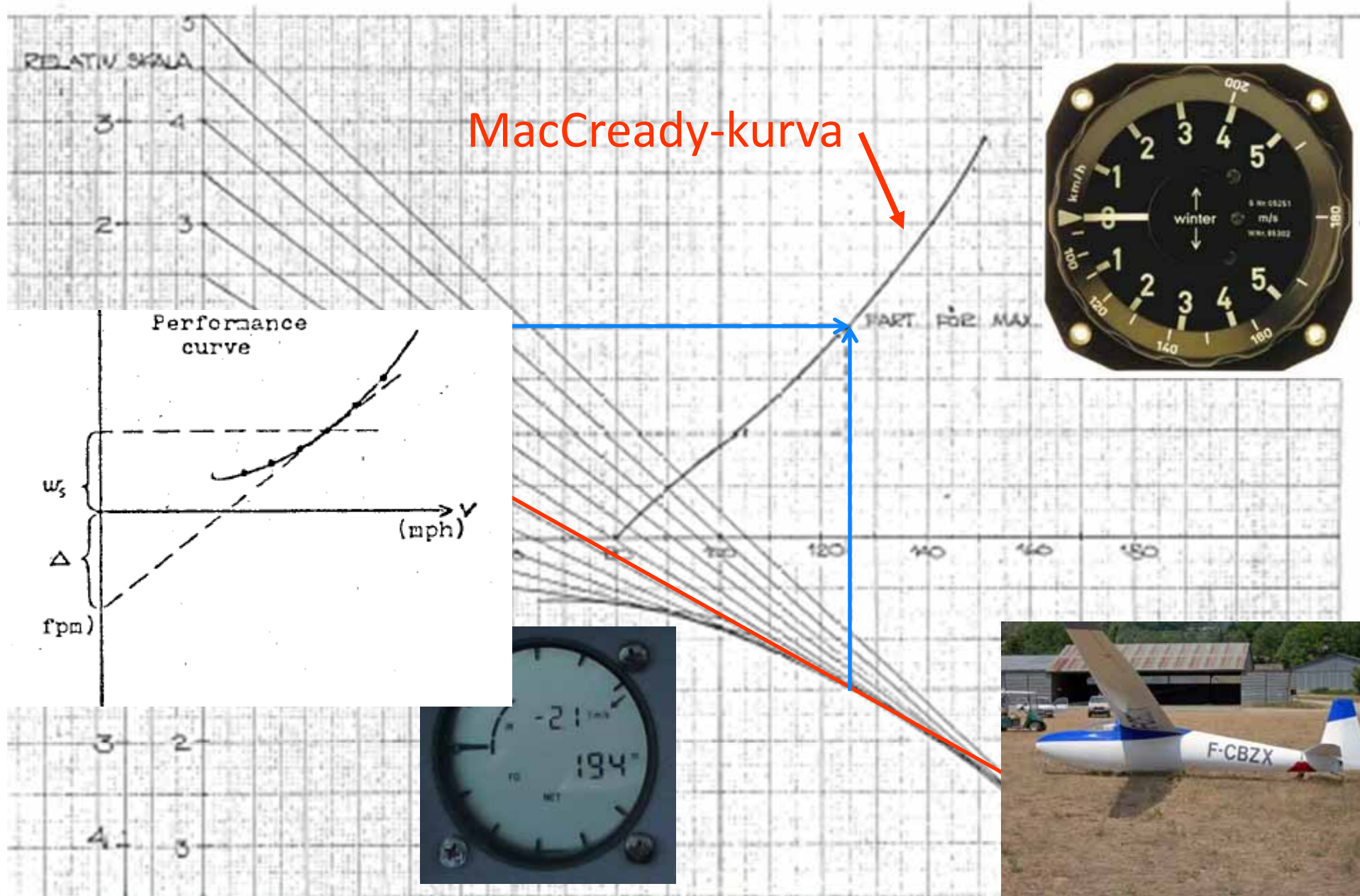


Problemet





MacCready-kurva



Matematiskt

Polarkurvan antas vara ett andragradspolynom

$$W_s = aV^2 + bV + c$$

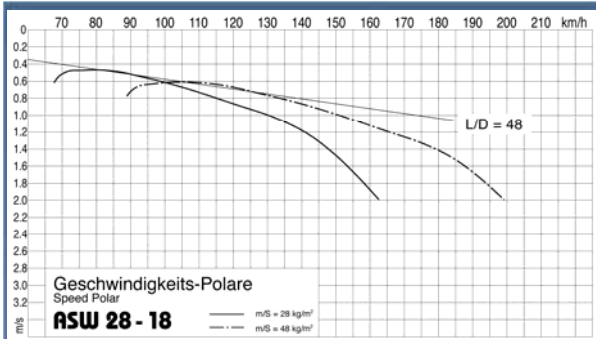
”bästa glidtal” = tangenten = derivatan, alltså
deriverar vi ovanstående uttryck och
multiplicerar med $V \Rightarrow$

$$W_{MC} = \frac{dW_s}{dV} V = 2aV^2 + bV$$

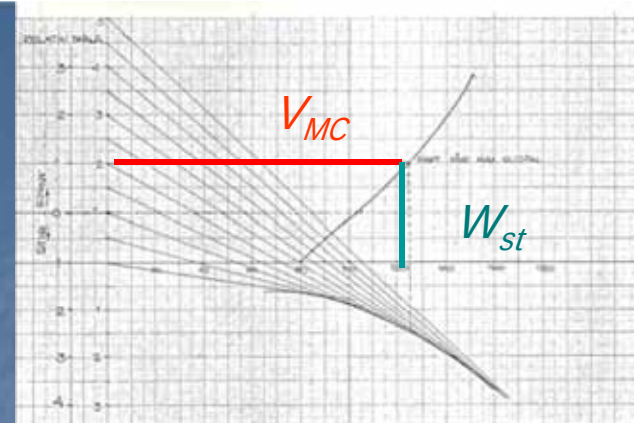
$$W_{MC} = W_{st} + W_s$$

- Att sätta ringen på 1 och flyga i 1 m/s sjunk ger samma fart som
- Att sätta ringen på 2 och flyga i lugn luft
- Som att sätta den på 0 och flyga i 2 m/s sjunk





$$V_{MC} = \sqrt{\frac{c - W_{st}}{a}}$$



där W_{st} är MC-värdet – ringinställningen

För ASW 28-18E med en vingbelastning på 48 kg/kvm är a, b och c (om vi räknar i km/h)

a = -0.000354

b = 0.0592944

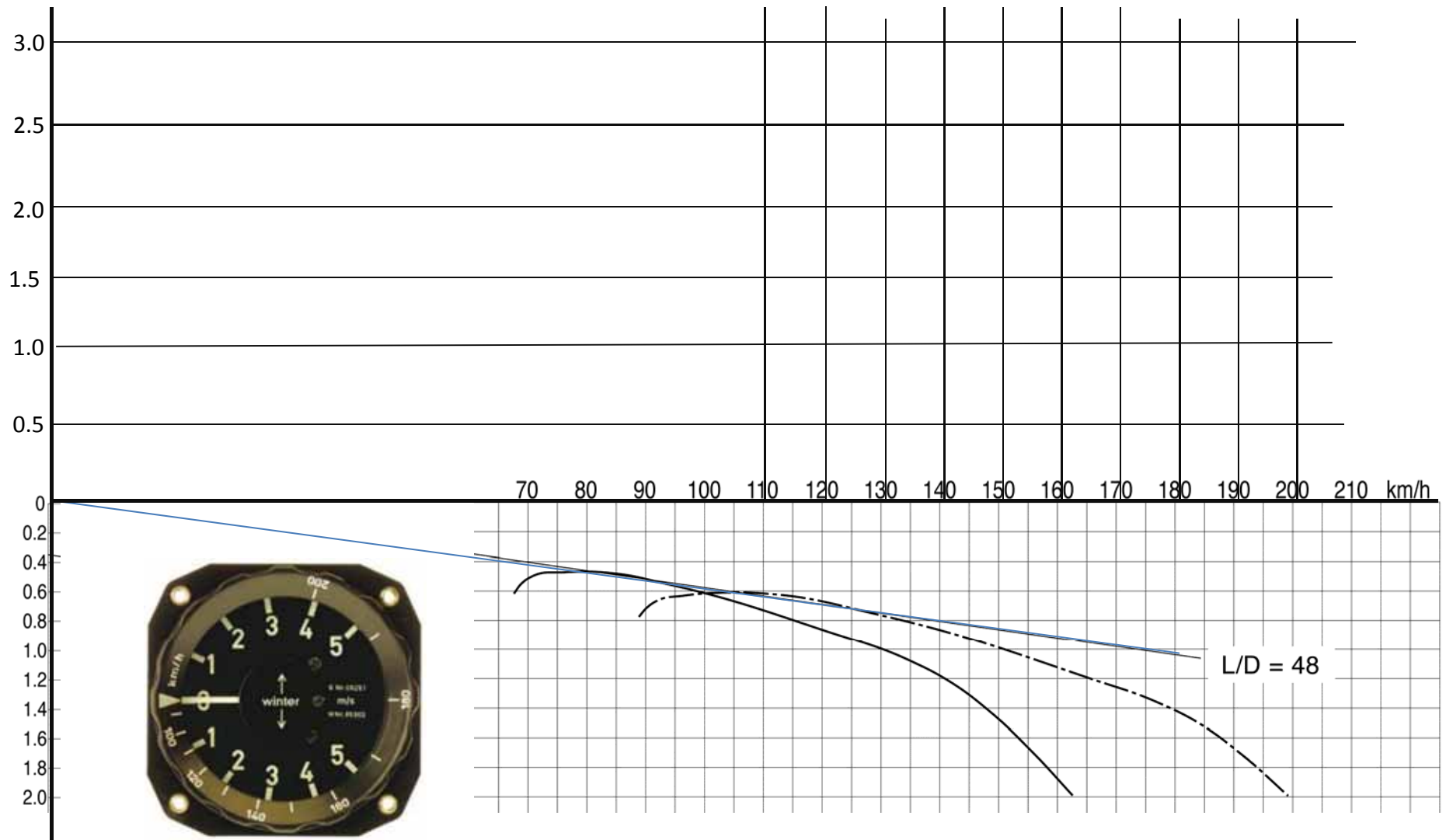
c = -4.475032

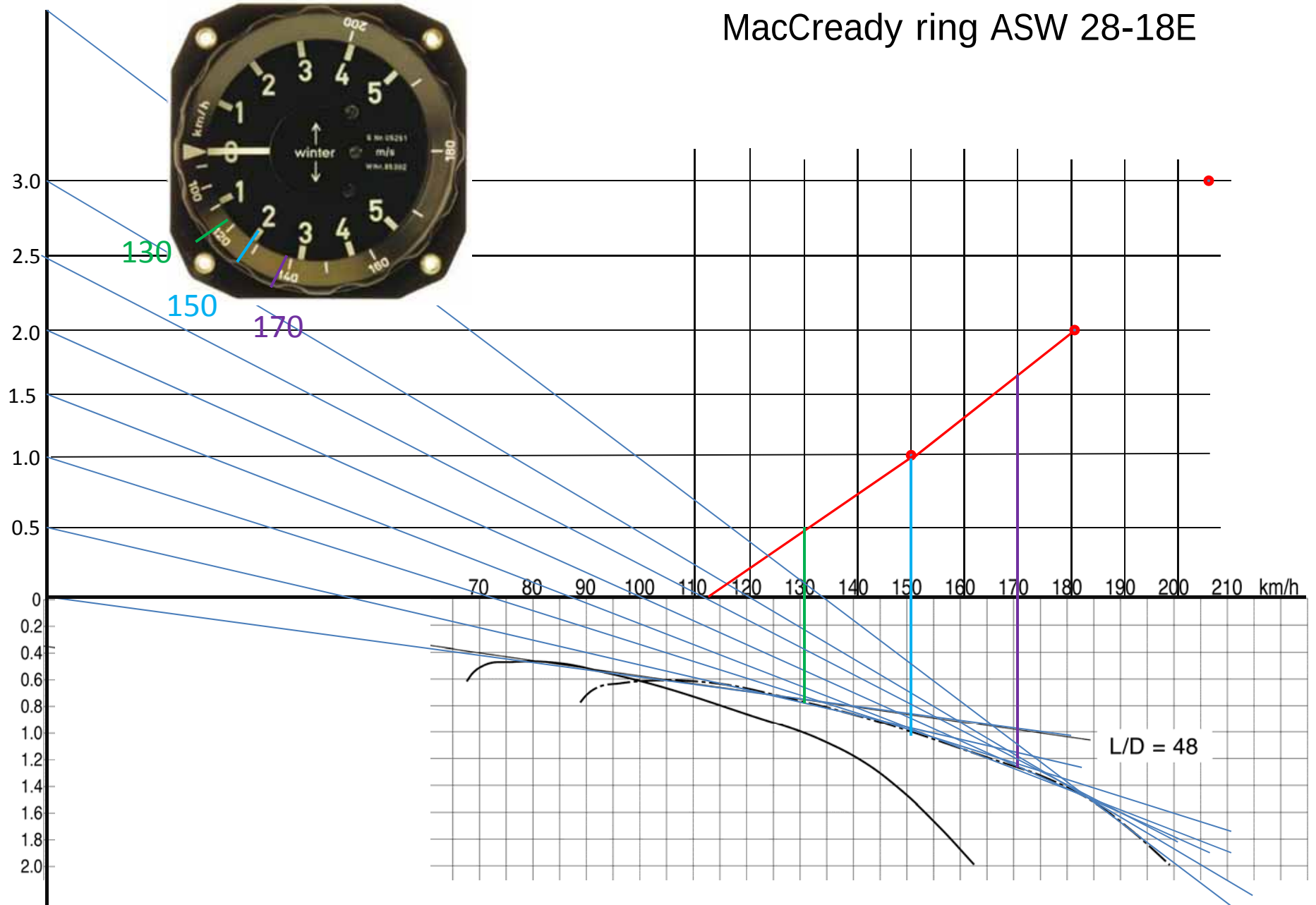
W_{st} m/s	V_{MC} km/h
0	112
1	151
2	181
3	208

[Remde polar ASW28.xls](#)

Konstruera en MacCready ring för ASW 28-18E

Märk ut 130, 150 och 170 km/h





Man kan också räkna ut det enkelt

$$W_{MC} = \frac{(2aV^2 + bV)}{3.6}$$

$$a = -0.000354$$

$$b = 0.0592944$$

W_{MC} m/s	V_{MC} km/h
-1.18	130
-1.95	150
-2.88	170

Solfahrtteorins antagande

- Flygplanets polar är känd
- Flyghöjden (eller distansen till nästa blåsa) har ingen betydelse
- Stiget i nästa blåsa är känt
- Vinden har ingen inverkan
- är det så???????

Bugs!

Glidtal försämring p g a nedsmutsad vingframkant

flygplanstyp	glidtal ren	glidtal smutsig
PIK-20	38.0	29.5
LS3	41.8	36.0
Std Cirrus	35.9	34.5
Mini-Nimbus	38.8	35.8
ASW19	38.0	35.8
ASW20	41.7	32.7
Nimbus II	47.4	38.4

Enl Dick Johnson

Flyghöjden?

- Flyger man lika fort på 500 m som på 2000 m?
- Sannolikheten att nå en blåsa ökar med höjden
- Alltså läge att tillämpa sannolikhetsteori!

Termiken...

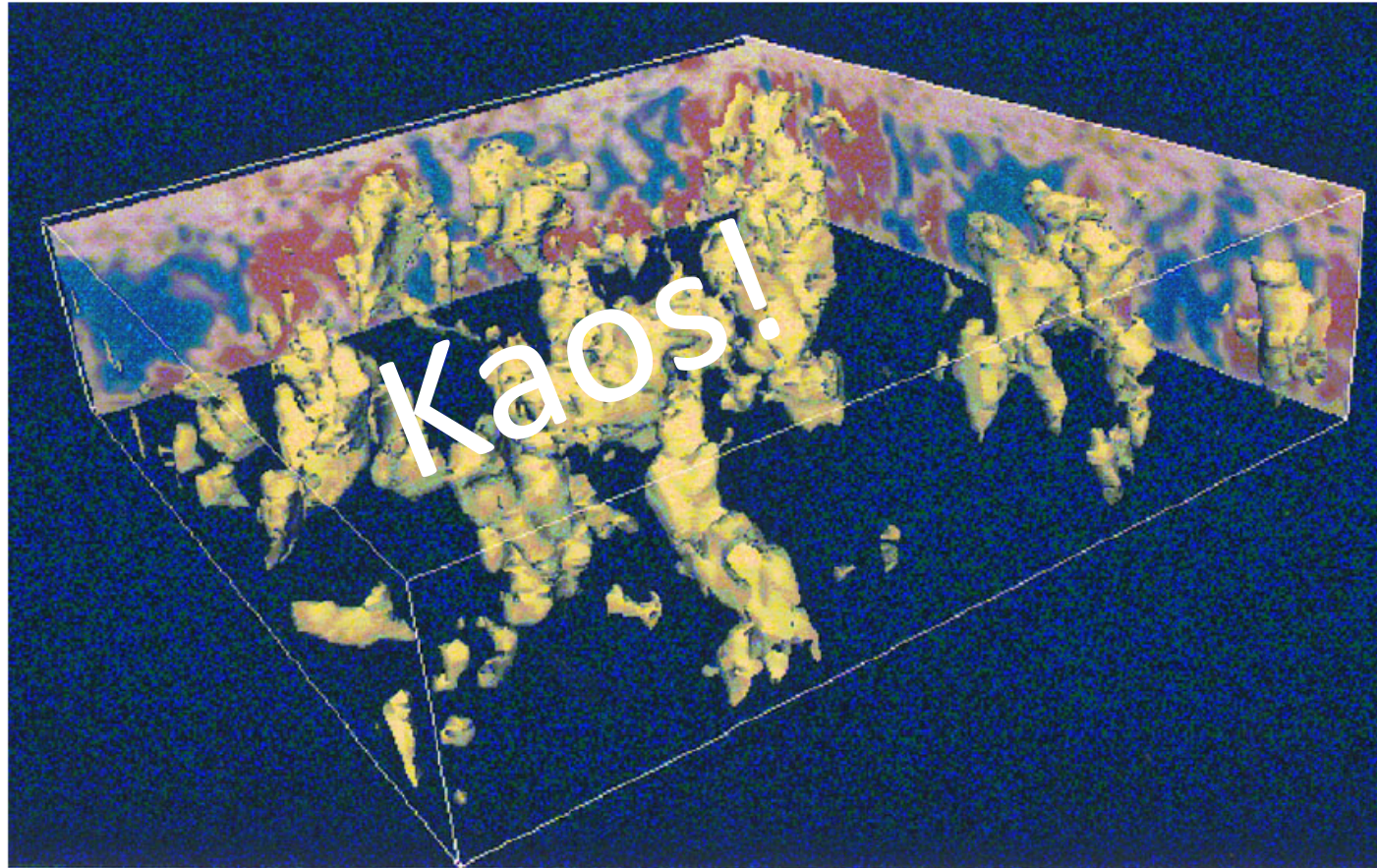
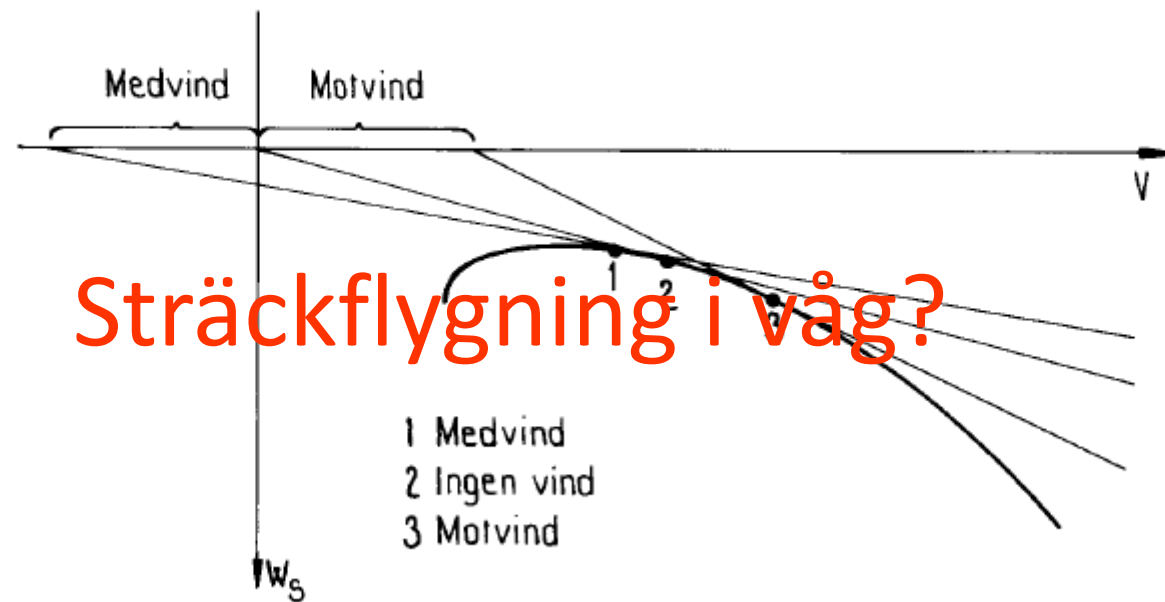


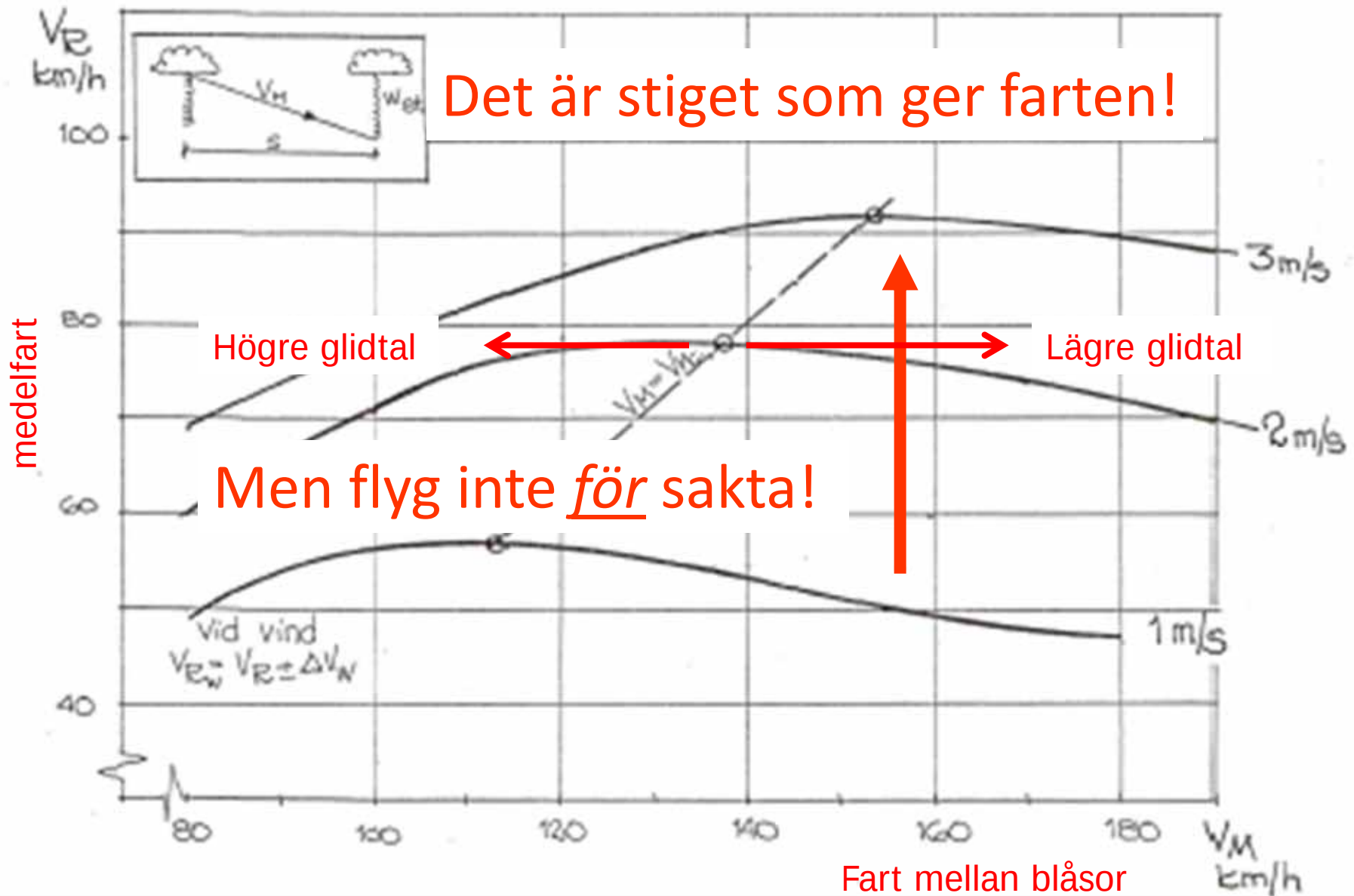
Figure 6: Perspective rendering of thermals in a computer model. Volumes enclosed by yellow surfaces are thermals. On the back and side walls, upward motion is in red and downward in blue. The resolution is 52 m in the horizontal and 21 m in the vertical, and the box is 5 x 5 x 1.25 km. Graphic copyright 1998 Peter Sullivan / National Center for Atmospheric Research, used by permission.

Vindens inverkan

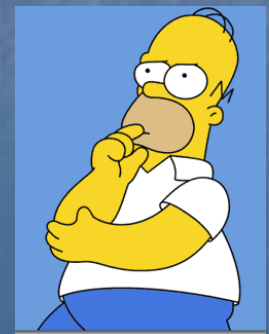


Har enbart inverkan på glidtalet
relativt marken!

V_R som funktion av V_M vid olika steg

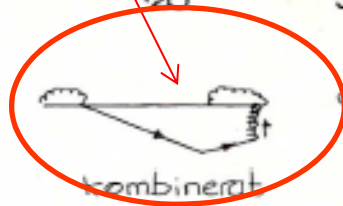
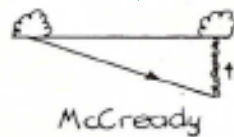
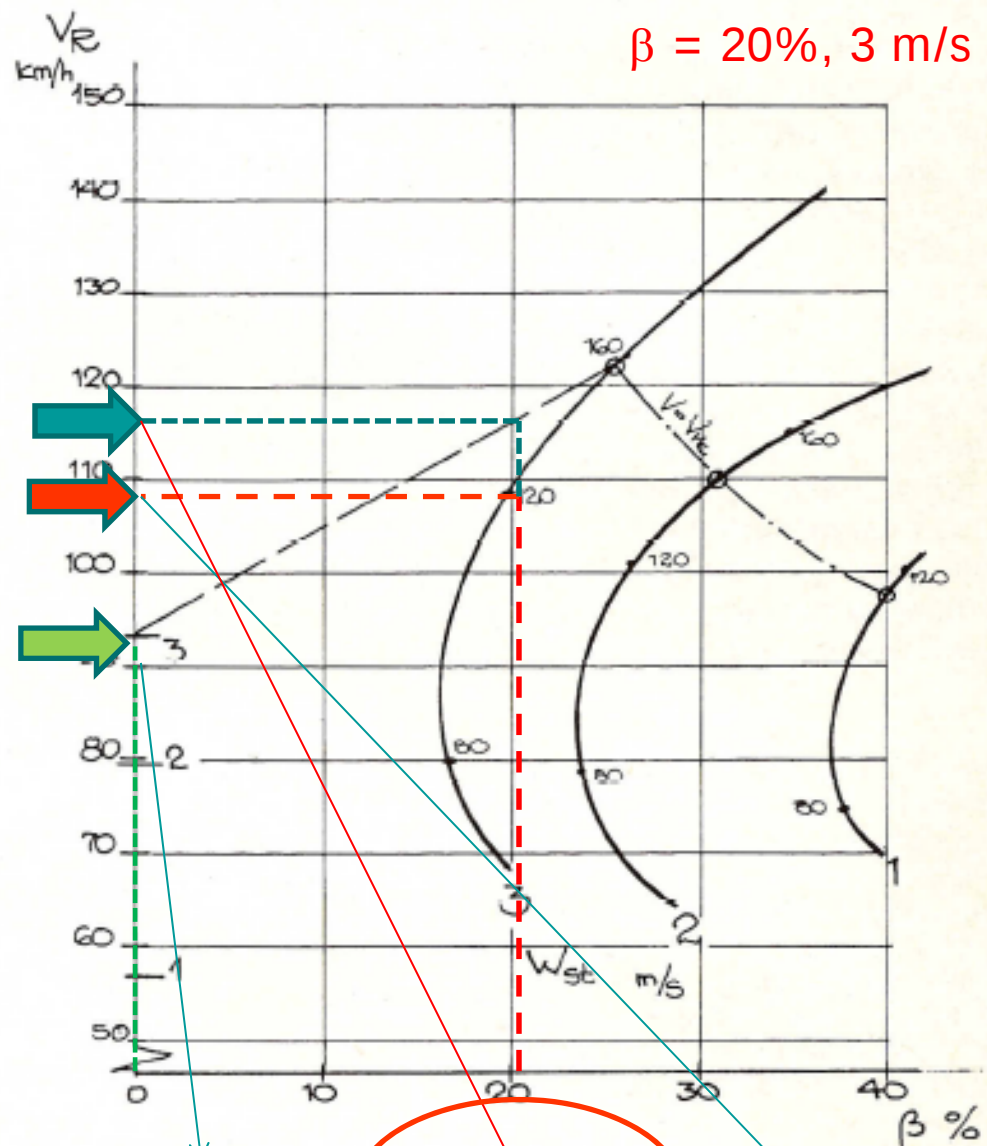


*Det är hur mycket stig vi kan få ut ur
blåsorna som bestämmer vår
medelfart, inte hur fort vi flyger
mellan blåsorna.*



V_R som funktion av β vid olika stög

$\beta = 20\%$, 3 m/s



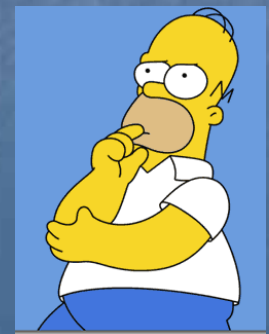
Delfinflygning

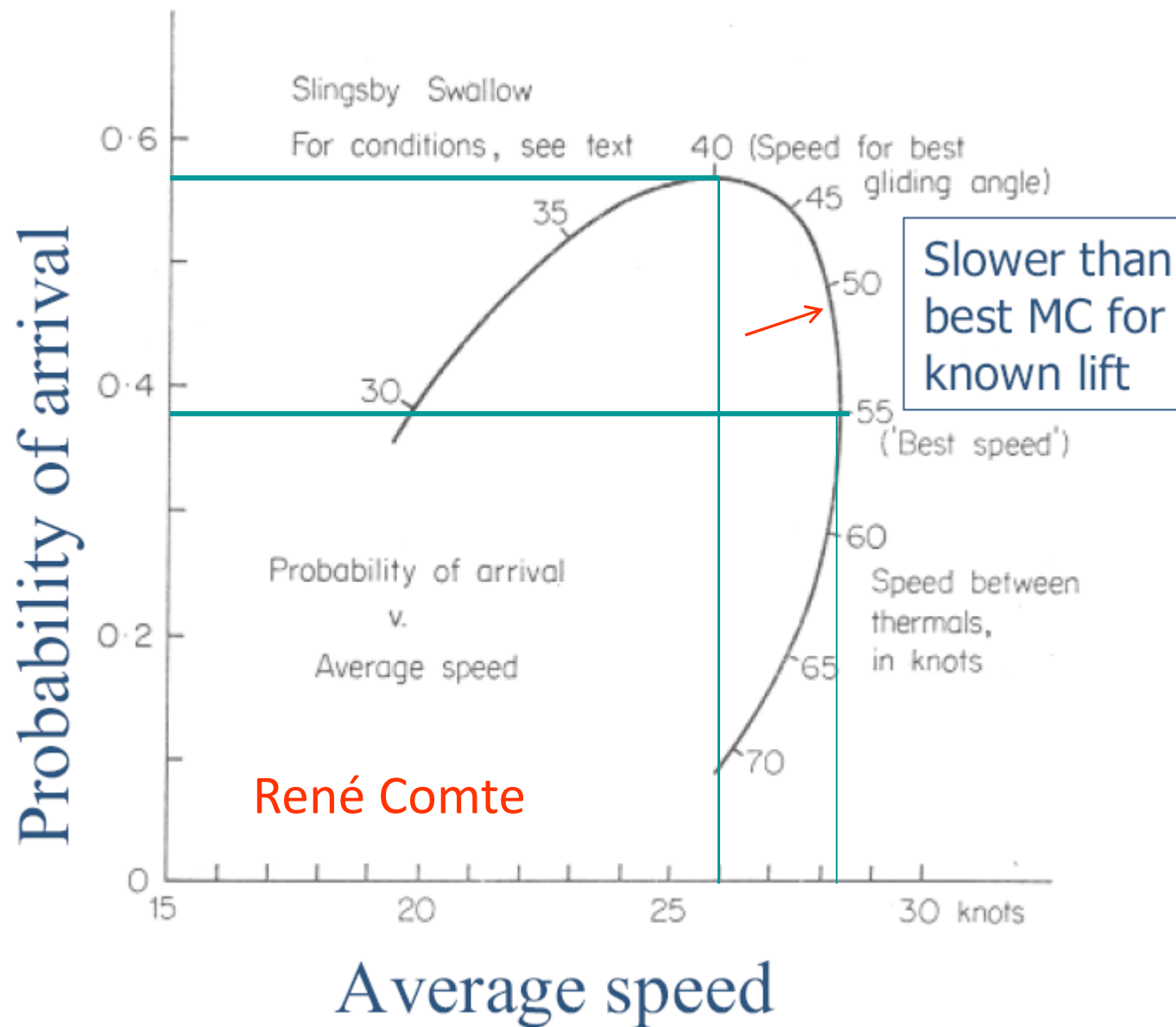


Kauer &
Junginger

(från Aerokurier 1973)

*Skruva aldrig ner ringen, eller om man
så vill, dra aldrig ner farten mellan
stigen, för att möjliggöra ren
delfinflygning*





"The arm-chair-pilot" Anthony Edwards 1963

OSTIV

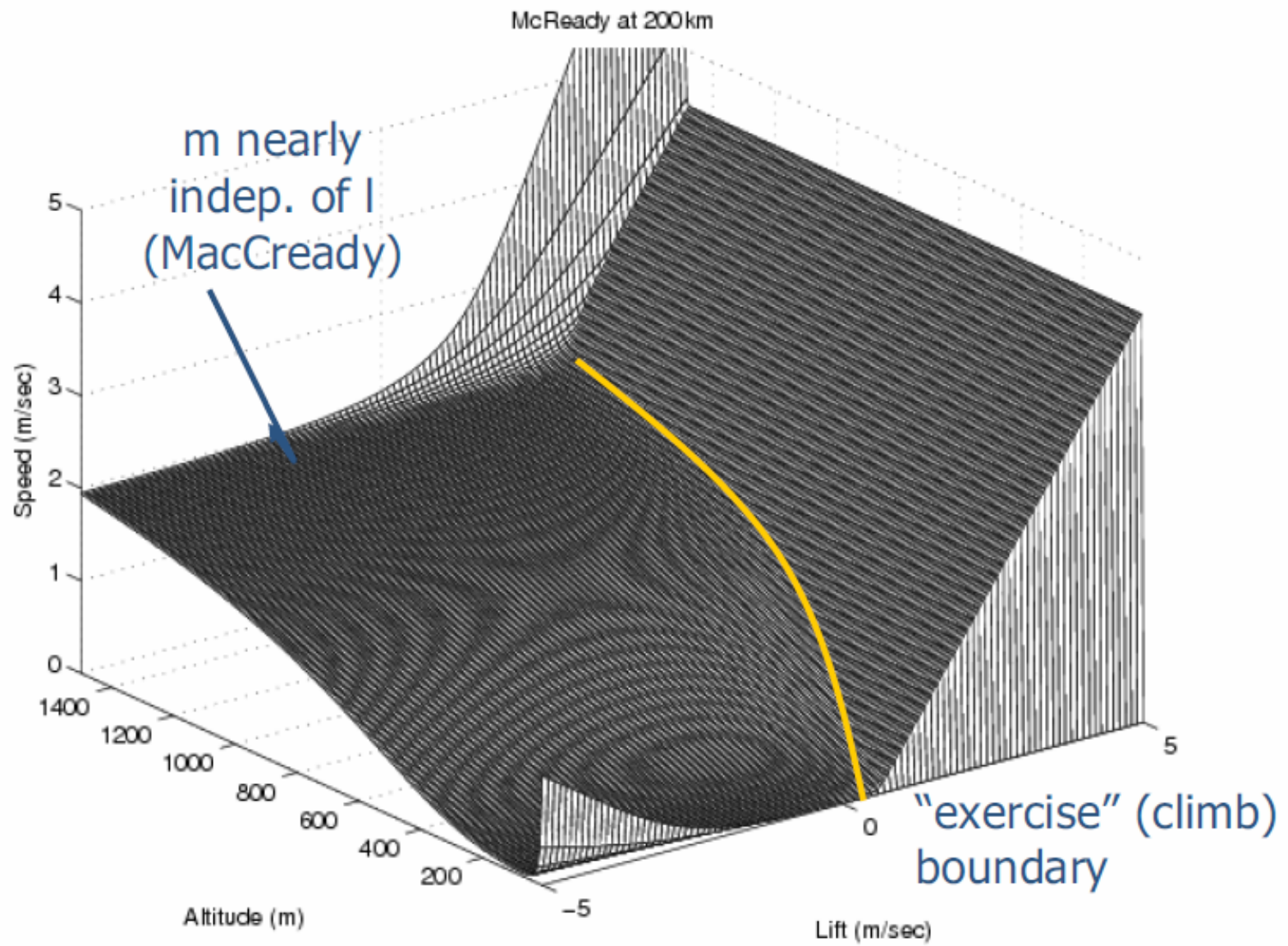


OPTIMAL SOARING WITH HAMILTON-JACOBI-BELLMAN EQUATIONS*

ROBERT ALMGREN[†] AND AGNÈS TOURIN[‡]

Abstract. Competition glider flying, like other outdoor sports, is a game of stochastic optimization, in which mathematics and quantitative strategies have historically played an important role. We address the problem of uncertain future atmospheric conditions by constructing a nonlinear Hamilton-Jacobi-Bellman equation for the optimal speed to fly, with a free boundary describing the climb/cruise decision. This equation comes from a singular stochastic exit time control problem and involves a gradient constraint, a state constraint and a weak Dirichlet boundary condition. An accurate numerical solution requires robust monotone numerical methods. The computed results are of direct applicability for glider flight.

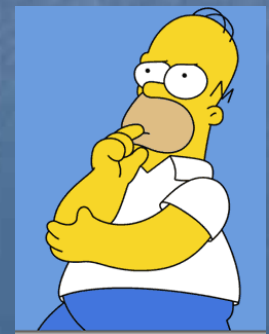
Key words. Hamilton-Jacobi equations, variational inequalities, stochastic control, monotone approximation, viscosity solutions



lift
exercise
boundary

$$= -u_x - u_z \min_v \frac{m - \ell + s(v)}{v} = -u_x - u_z \frac{m - \ell + s(v_*)}{v_*}$$

Stå på när du är på höjd, håll igen
när du kommer lågt



Get high, stay high



Just a little faster, please

John Cochrane

There comes a time that you want to fly a little bit faster. Maybe you've been to a contest or two and you've seen what amazing speeds the top pilots achieve – and often in surprisingly bad conditions. Maybe you want to go for a badge, or just cover a little more territory in your cross-country flying. We are glued to this sport by obsessive self-improvement, and a little more speed soon becomes the focus of that obsession.

MacCready Theory with Uncertain Lift and Limited Altitude

John H. Cochrane¹

May 4, 1999

Tips från Cochrane

- *Sväng inte i svaga blåsor.* Flyg genom dem; lämna svaga blåsor för att hitta bättre; kan du inte centrera, fortsatt framåt.
- *Landa inte ute!* Balansera ditt val av blåsor med risken för att landa ute.
- *Flyg inte upp i molnbasen.* Lämna utrymme i höjddled för att kunna kurva i femmetaren om den dyker upp.

Enl Wil Schuemann (soaring Symposia 1972)
är "MacCready teorins" budskap:



Flyg fort i sjunk och sakta i stig!

*Och just detta är kontentan av
solfahrtteorin!*

Vad ska man då sätta "ringen" på?

- Det första man ska tänka är att inställt MacCreadyvärde inte är ett inställt termikvärde utan en "farthållare".
- Aldrig under 1 m (då riskerar man att flyga långsammare än fart för bästa glidtal)
- Skåneväder 1
- Bra väder 2
- Högre än så lönar sig inte för då är man uppe i V_{NE}

Och i praktiken blir det....

(i min ASW 28:a)

- "Vanligt väder": 150 – 160 km/h
- "Bautaväder": 180 – 190 km/h

W_{st} m/s	V_{MC} km/h
1	151
2	181
3	208

Rhonsperber

V_{st} m/sec	$V_{(opt)}$ km/std	V_R km/std
0,0	63	m
0,5	73	24
1,0	83	38
1,5	92	46
2,0	99	53
2,5	105	59
3,0	110	64
4,0	118	72
5,0	127	78

Flyg fort i sjunk och sakta i stig!

Phase	dH	AVario	AGsp	DisDone	D/H	
Straight (Tow)	825m	2.9m/s	119km/h	9.5km	-11.5	
Cirding - Left	50m	1.0m/s				
Straight	16m	1.0m/s	91km/h	0.4km	-25	
Cirding - Left	408m	1.9m/s				
Straight	-26m	-0.7m/s	134km/h	1.3km	51	
Straight (Engine)	59m	1.1m/s	124km/h	1.8km	-30	
Straight	-306m	-1.1m/s	142km/h	11.2km	37	
Cirding - Right	244m	2.4m/s				
Straight	-107m	-0.2m/s	150km/h	28.2km	263	
Cirding - Left	328m	2.3m/s				
Straight	-193m	-0.4m/s	148km/h	20.7km	107	
Cirding - Left	208m	2.6m/s				
Straight	-353m	-0.3m/s	148km/h	44.4km	126	
Cirding - Left	339m	2.4m/s				
Straight	-283m	-0.5m/s	159km/h	25.5km	90	
Cirding - Left	198m	2.6m/s				
Straight	-3m	0.0m/s	165km/h	5.3km	1772	
Cirding - Left	148m	1.6m/s				
Straight	-534m	-0.4m/s	174km/h	62.7km	117	
Cirding - Right	335m	1.9m/s				
Straight	-144m	-0.5m/s	141km/h	12.3km	85	
Cirding - Left	365m	2.2m/s				
Straight	-514m	-0.5m/s	145km/h	41.3km	80	
Cirding - Left	406m	2.4m/s				
Straight	-310m	-0.3m/s	152km/h	37.6km	121	
Cirding - Left	565m	3.1m/s				
Straight	-1578m	-0.9m/s	181km/h	86.8km	55	

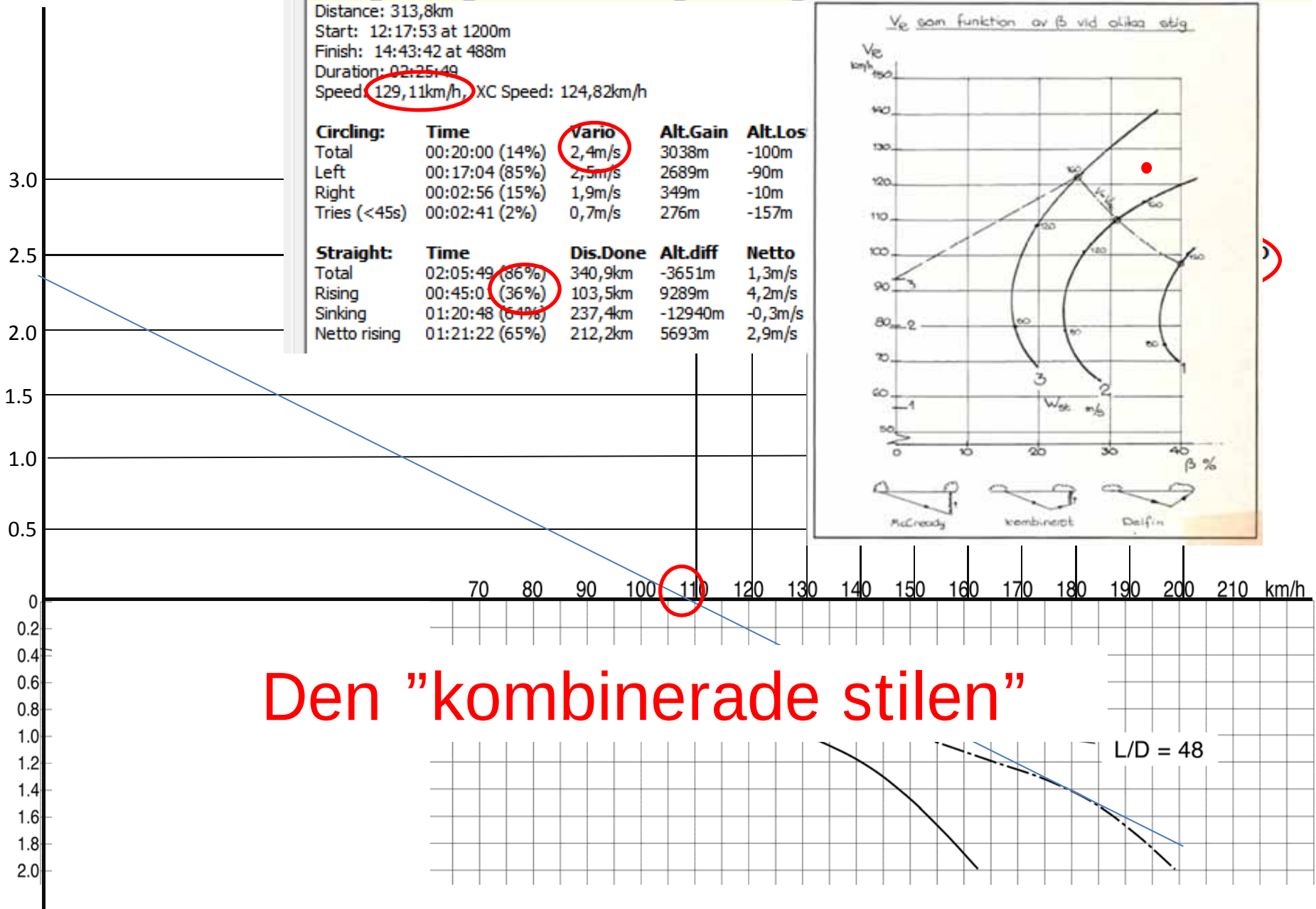
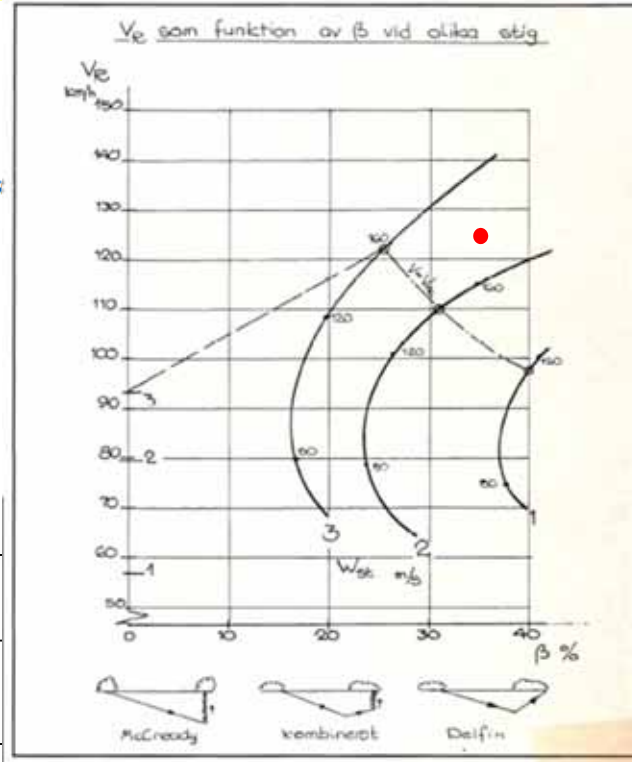
[flight](#)

VIARP_FP - OSBY_VAG - STENESTA - OSBY_VAG - VIARP_FP

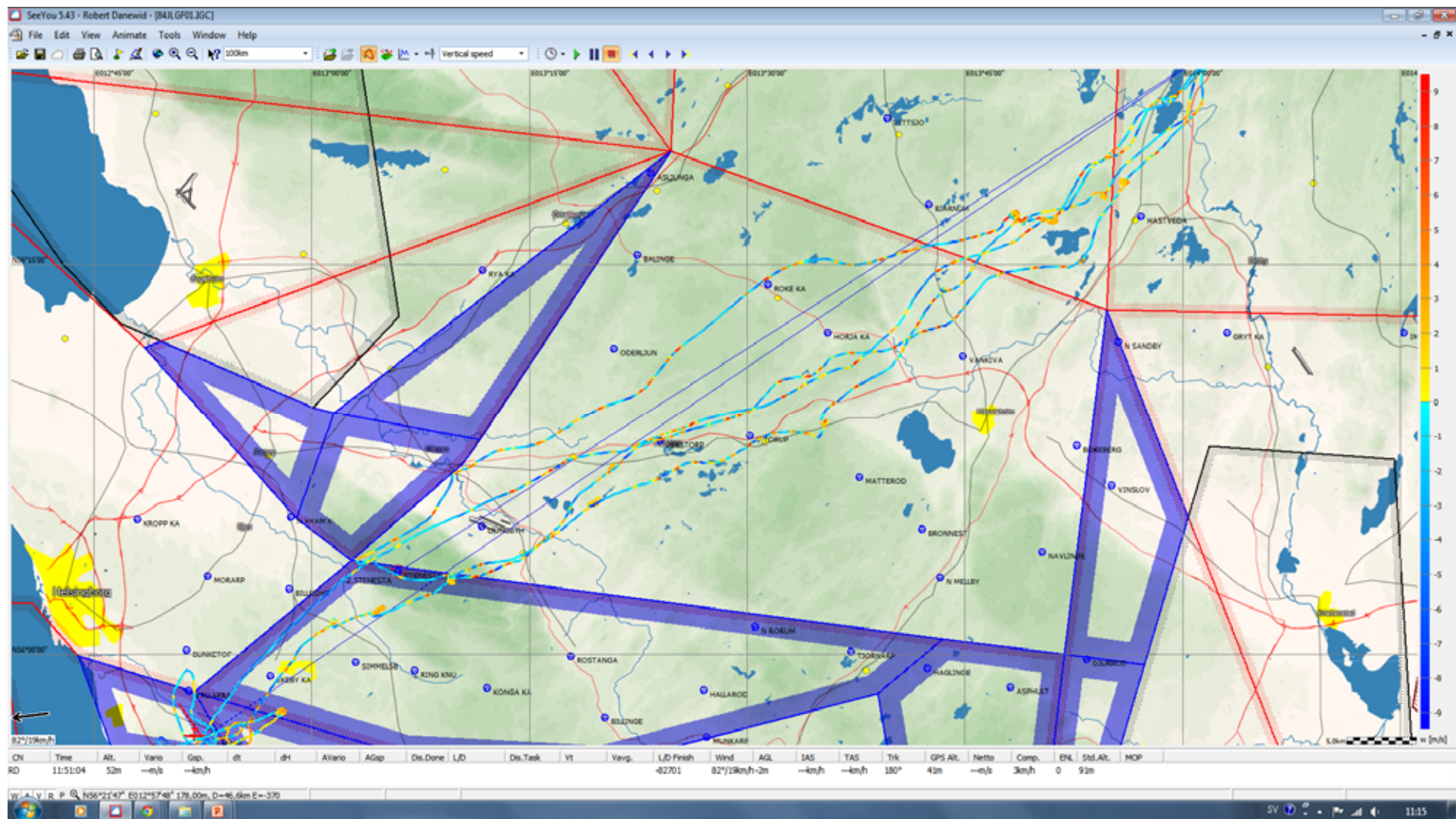
Distance: 313,8km
 Start: 12:17:53 at 1200m
 Finish: 14:43:42 at 488m
 Duration: 02:25:49
 Speed: 129,11km/h, XC Speed: 124,82km/h

Circling:	Time	Vario	Alt.Gain	Alt.Los
Total	00:20:00 (14%)	2,4m/s	3038m	-100m
Left	00:17:04 (85%)	2,5m/s	2689m	-90m
Right	00:02:56 (15%)	1,9m/s	349m	-10m
Tries (<45s)	00:02:41 (2%)	0,7m/s	276m	-157m

Straight:	Time	Dis.Done	Alt.diff	Netto
Total	02:05:49 (86%)	340,9km	-3651m	1,3m/s
Rising	00:45:01 (36%)	103,5km	9289m	4,2m/s
Sinking	01:20:48 (64%)	237,4km	-12940m	-0,3m/s
Netto rising	01:21:22 (65%)	212,2km	5693m	2,9m/s

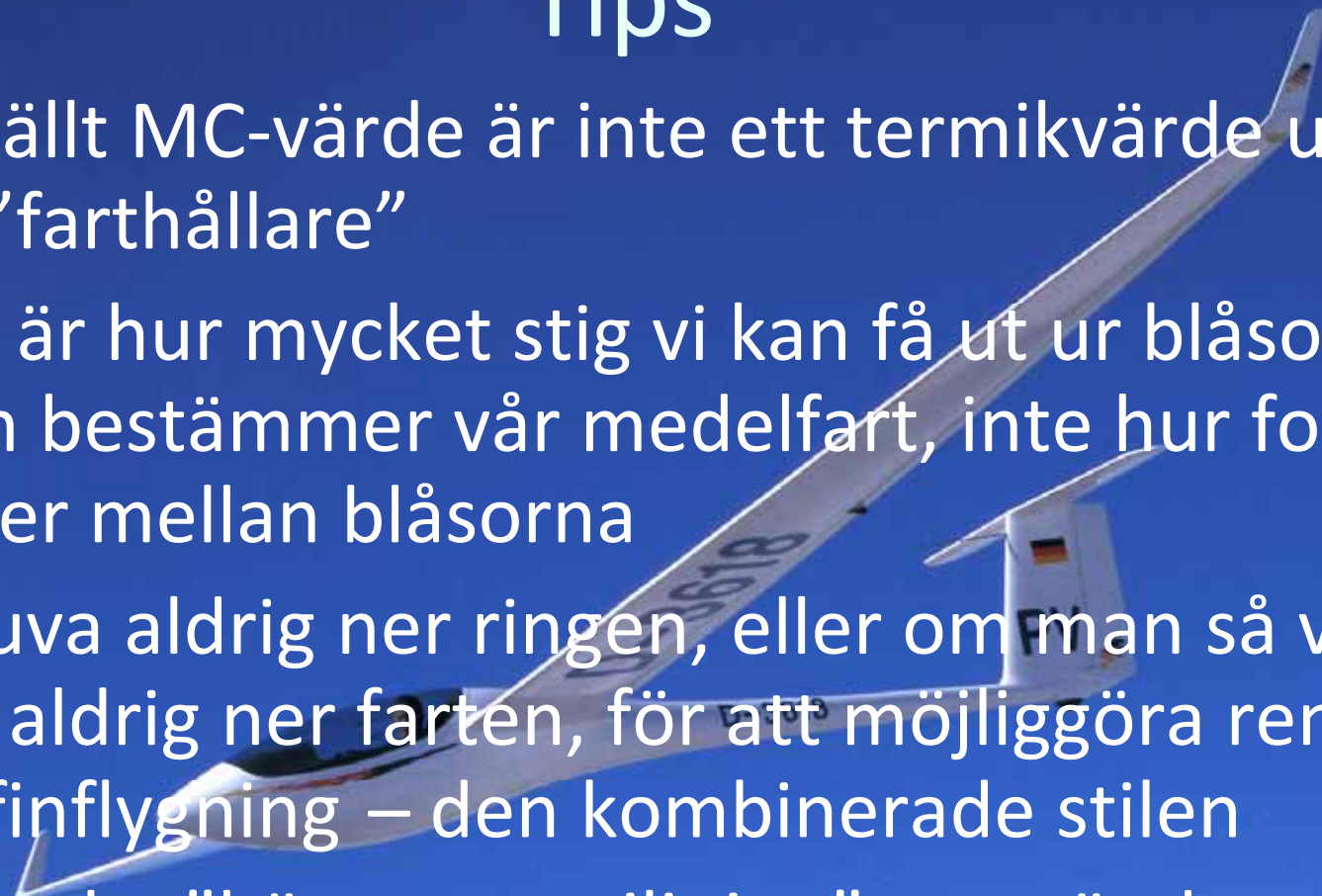


Analysera dina och andras flygningar i SeeYou



Tips

- Inställt MC-värde är inte ett termikvärde utan en "farthållare"
- Det är hur mycket stig vi kan få ut ur blåsorna som bestämmer vår medelfart, inte hur fort vi flyger mellan blåsorna
- Skruva aldrig ner ringen, eller om man så vill, dra aldrig ner farten, för att möjliggöra ren delfinflygning – den kombinerade stilen
- Vägval = "bästa energilinjen" = använd svaga blåsor för att ta dig till de starka
- Molngator +/- 30 gr



- 
- Flyg fort i sjunk, sakta i stig
 - Stå på när du är på höjd, håll igen när du kommer lågt
 - Get high, stay high
 - Träna termikflygning – det är stiget som ger farten
 - Undvik sjunk
 - Undvik utelandning
 - ***Flyg med huvudet***