

AERODYNAMIKK

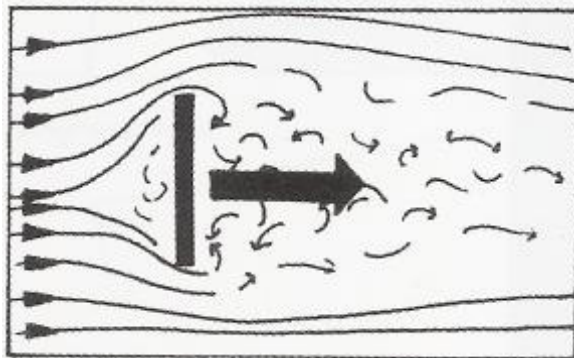


**Aerodynamiske prinsipper
som forklarer hvorfor vi
flyr, og hva som skjer når
vi ikke gjør det...**

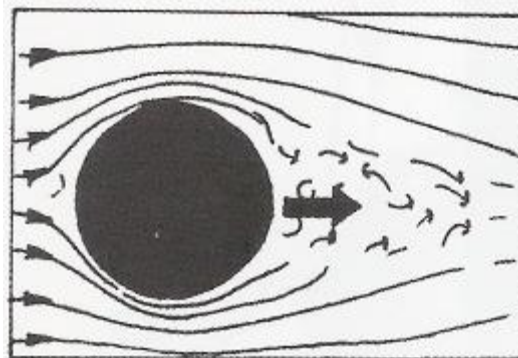
Strømlinjer



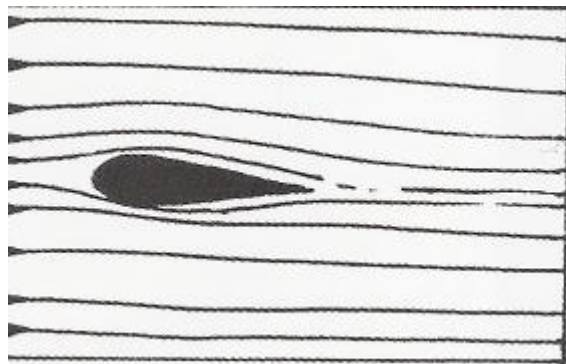
Flate mot vinden - stor motstand og turbulens bak flaten



Kule - redusert motstand



Vingeprofil – lite motstand; Aerodynamisk, laminar luftstrøm



Vingen bryter luftstrømmen - steiling

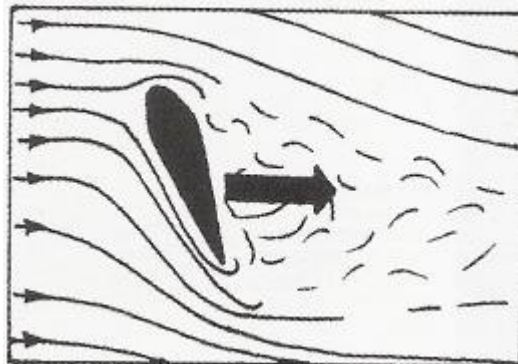
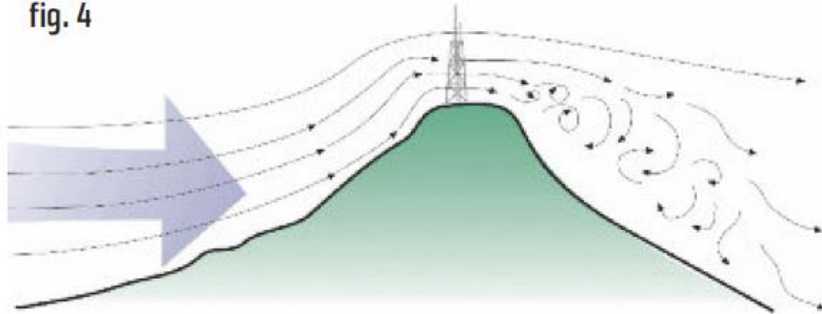
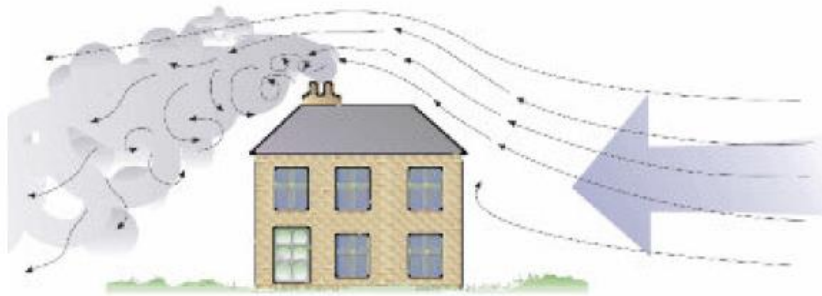


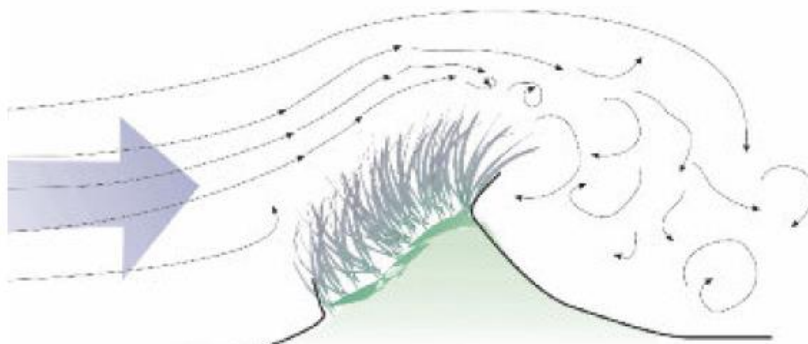
fig. 4



Turbulence behind hills and mountains

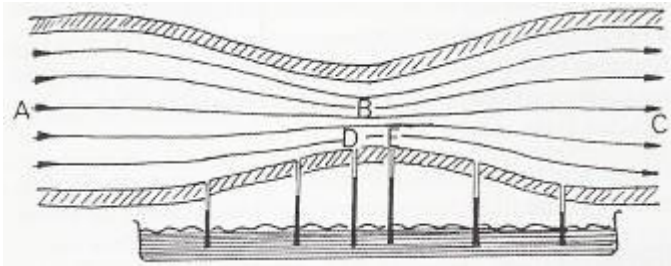


Turbulence behind man-made structures



Turbulence behind natural ground features

Stor lufthastighet gir undertrykk



Innsnevring gir høyere hastighet, da like mye luft skal gjennom en trangere passasje. (Tenk på bekker og elver der det blir sterk strøm, hvordan oppfører vannet seg?)

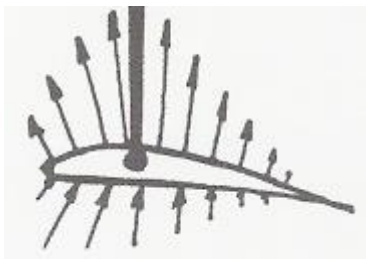


Over vingen

Lufta har lengre vei å gå over vingen; større fart som skaper undertrykk

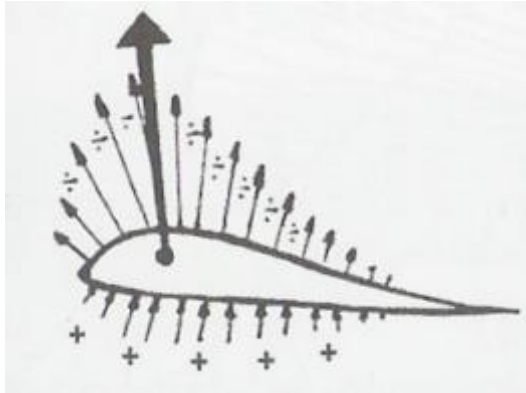
Under vingen

Under vingen blir luftens vei kortere, og lufta «møter» vingen; overtrykk.



2/3 av løftet over, 1/3 av løftet under.

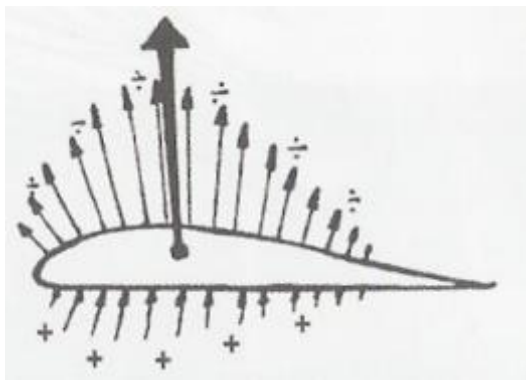
Trykksenter



Trykksenter: «alle løftkrefter samlet i et punkt»

Stor angrepsvinkel: trykksenter langt foran

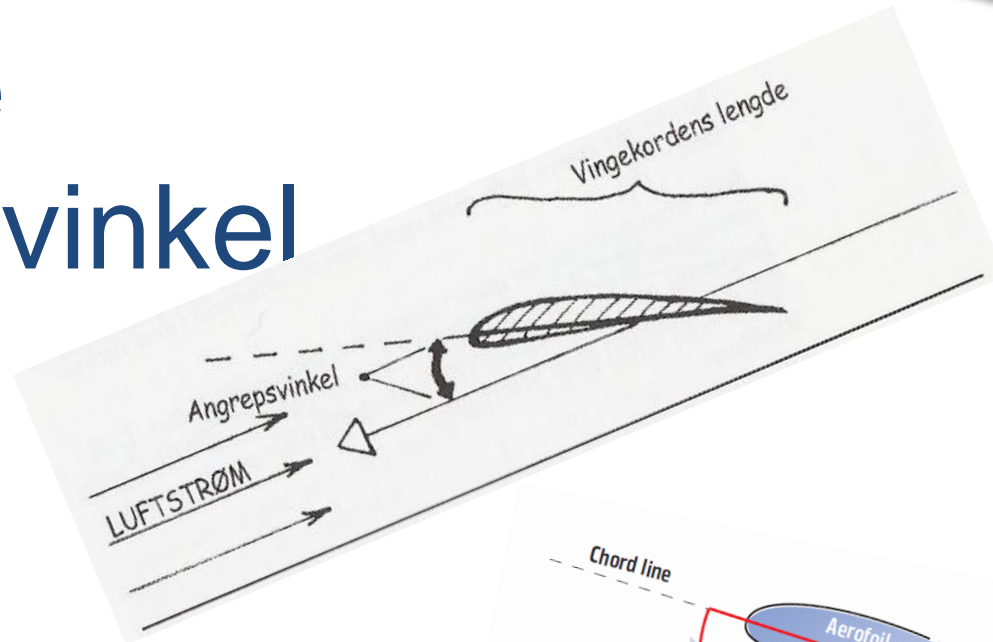
Liten angrepsvinkel: trykksenter langt bak



Ulike vingeprofiler kan ha ulike trykksentre. Det nederste profilet, med senter langt bak, har minst motstand og størst hastighet.

Omtrent 2/3 av trykket ligger foran/midten av vingen.

Vingekorde og angrepsvinkel

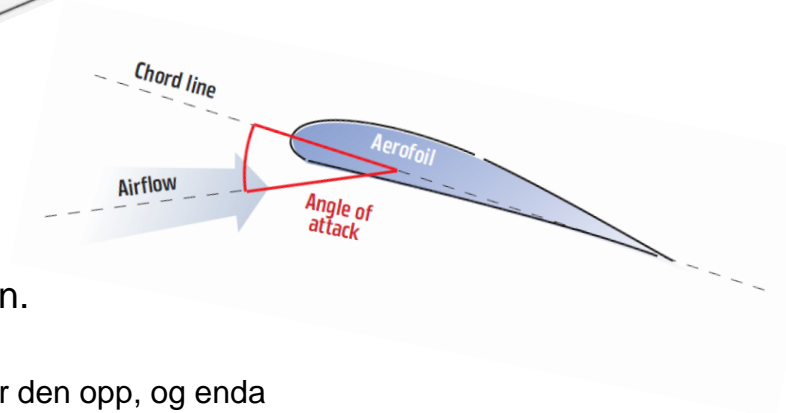


Vingekorden går gjennom vingen, fra bakkant til forkant.

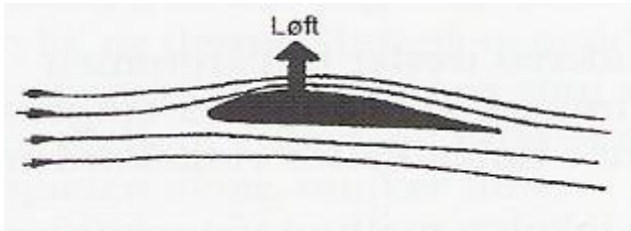
Angrepsvinkelen er vinkelen mellom vingekorden og flybanen.

Vi får større angrepsvinkel når vi trekker brems, og mindre når vi slipper den opp, og enda mindre når vi bruker speedsystem.

Angrepsvinkelen kan forandre seg under normal flyging når vi går inn i en boble (større, med fare for steil, slipp opp brems). Når vi faller eller flyr ut av en boble, vil vingen komme frempå, liten angrepsvinkel og det er fare for symmetrisk eller asymmetrisk innklapp. Da må vi bremse opp vingen litt for å gjøre angrepsvinkelen større.

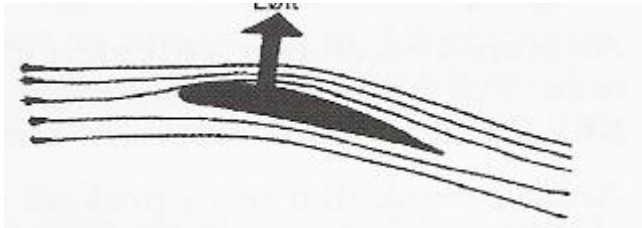


Angrepsvinkel og løft



Lav angrepsvinkel – lite løft
Større angrepsvinkel – stort løft

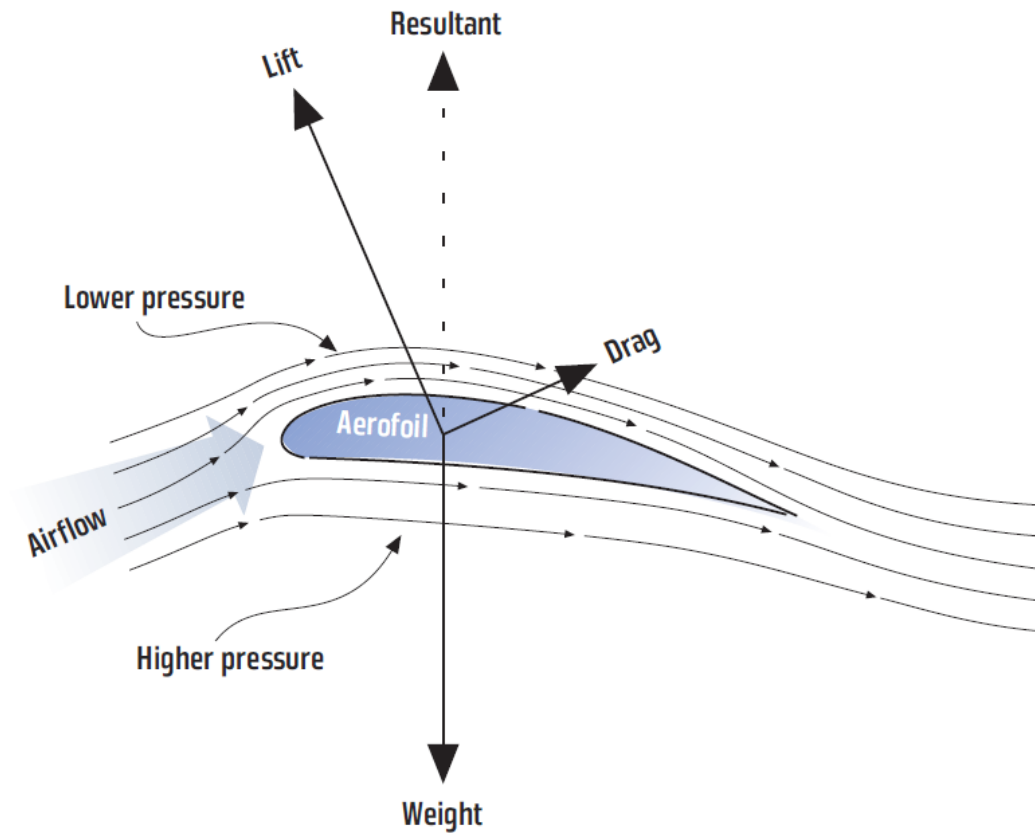
Vingen flyr så lenge lufta følger oversiden av Profilet.



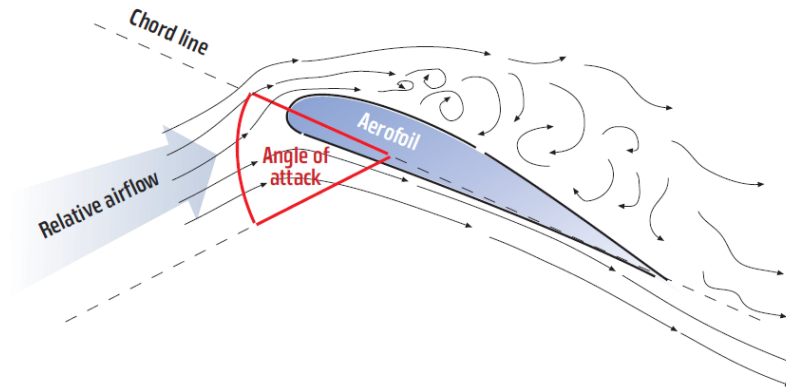
Øker angrepsvinkelen ytterligere, så steiler vingen

(Profilet til vingen skapes av et overtrykk inne i vingen)

Krefter som virker på vingen



Steiling



Steiling inntreffer når luftstrømmen ikke lenger klarer å følge oversiden av vingeprofilet

Steiling inntreffer **alltid ved samme angrepsvinkel**

Steilehastighet avhenger av vingebelastningen

Steiling med PG: vingen «faller bakpå».

IKKE elevøvelse!!!

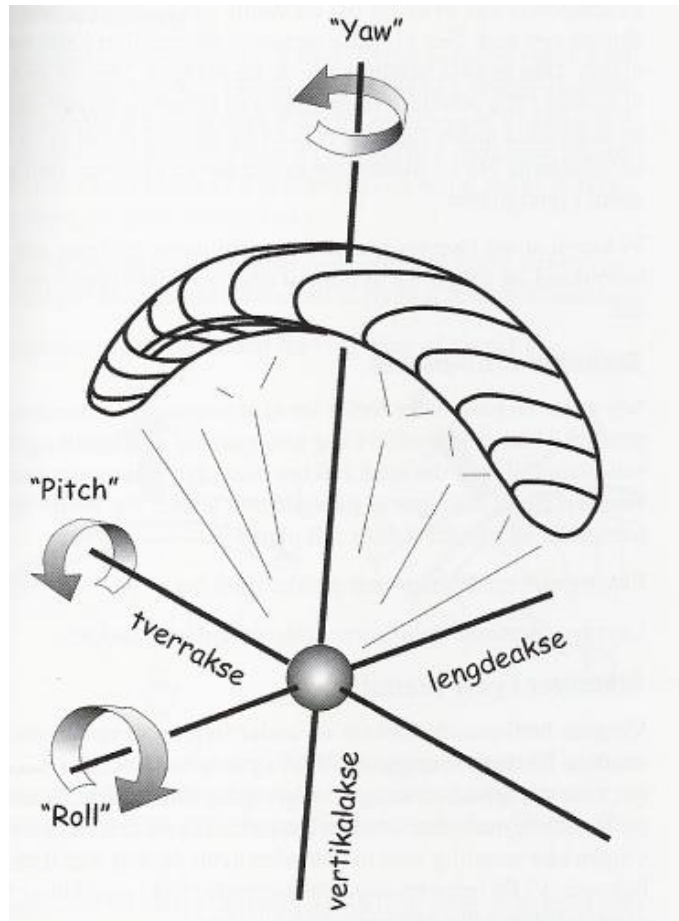
Steilehastighet

- ✓ Minimum flyhastighet
- ✓ Laveste hastighet som tillater tilstrekkelig løft
- ✓ Mer brems = mindre fart = nærmer seg steilehastighet
- ✓ Steilehastighet er alltid den samme gitt samme vingebelastning
- ✓ Økt vingebelastning (vekt) = større minimum synk og større steilehastighet
- ✓ Glideren steiler alltid på samme angrepsvinkel

Løft avhenger av:

- ✓ Angrepsvinkel
- ✓ Hastighet – doblet hastighet gir 4-doblet løft
- ✓ Vingeprofil
- ✓ Vingearreal
- ✓ Lufttetthet

3 Aerodynamiske akser



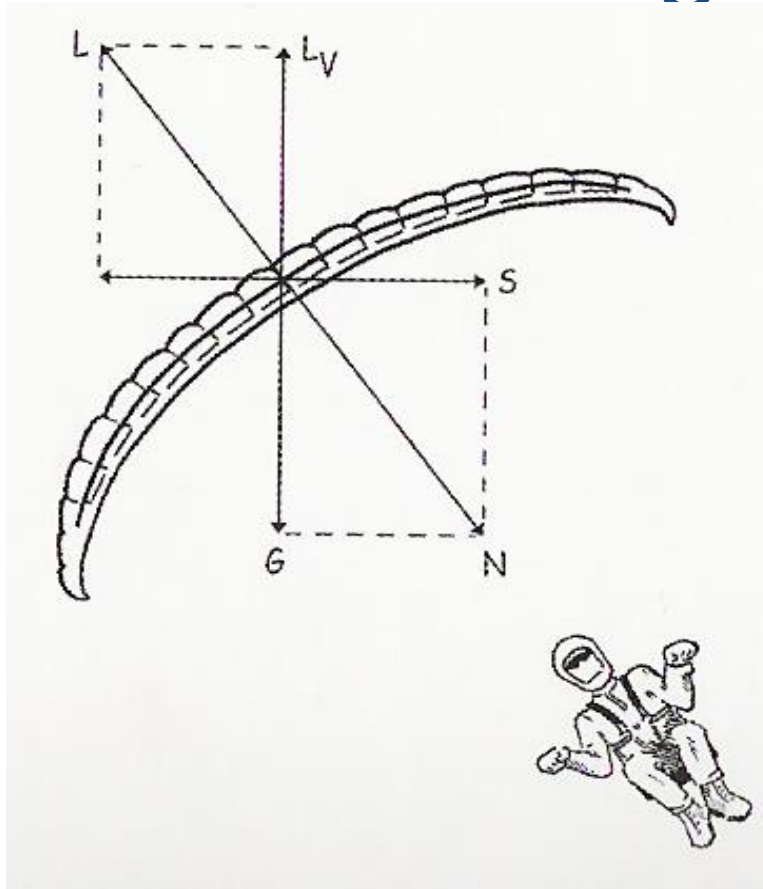
YAW: «vridning» sidelengs

PITCH: «nikker» frem og tilbake i fartsretningen

ROLL: «rulling» som en båt

Paraglideren er pitch- og rollstabil p.g.a. lavt tyngdepunkt. Yaw-stabil p.g.a. fremkantens krumning.

Krefter i sving

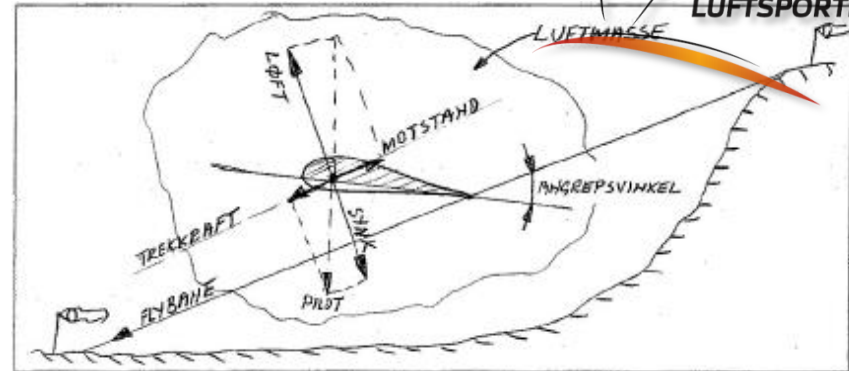


Tyngdekraften (G) alltid den samme, og trekker rett ned

Sentrifugalkraften (S) trekker også, men i en annen retning

Resultanten (N) er større enn G , altså større G -belastning

Større G -belastning gir **større hastighet og høydetap i sving**



Trekkraft

Vektorer

Beskriver krefters størrelse og retning

I starten vil pilotens vekt overføres til glideren og være den kraft som trekker glideren forover.

- ✓ Trekkraften avhenger av hellningsgraden på flybanen
- ✓ En paraglider beveger seg alltid nedover på flybanen
- ✓ Jo brattere flybane, dess større trekkraft og hastighet

Stabilitet:

- ✓ Pitch
- ✓ Roll
- ✓ Yaw
- ✓ Lavt tyngdepunkt (pilotens vekt) skaper stabilitet

Sideforhold

$$\frac{\text{Vingespenn} \times \text{vingespenn}}{\text{Vingens areal}}$$

$$\frac{11\text{m} \times 11\text{m}}{26 \text{ m}^2} = 4,6$$

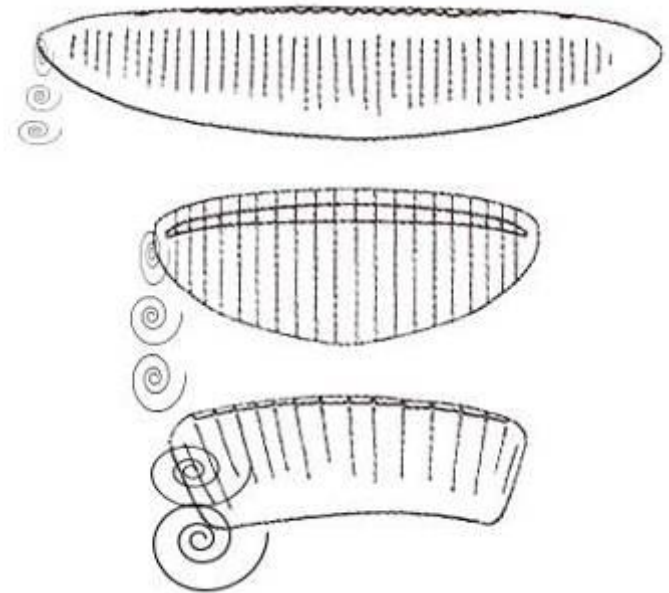
Eksempel: vingespenn 11
meter, areal 26 m²:

Høyt/stort sideforhold gir bedre ytelser på vingen,
svinger lettere, men gir også en mer "nervøs" vinge.

Konkurransegliders: Sideforhold 7,5 (stort)

Elev/Mellomstadiegliders: Sideforhold 5,0 (medium)

Tidlig paragliders: Sideforhold ca 3 (lite)



Motstand

3 Former for motstand:

- ✓ Indusert motstand (sideforhold/vingetippvirvler)
- ✓ Formmotstand (liner, kropp, seletøy osv)
- ✓ Overflate / Friksjonsmotstand (friksjon mellom luftlag)

<https://www.facebook.com/video.php?v=713628168745804>

Indusert motstand (Vingetippvirvler)



Overtrykket under vingen søker å utligne undertrykket over vingen.

Bare ved vingetippene kan lufta klare å omgå Vingeprofilet.

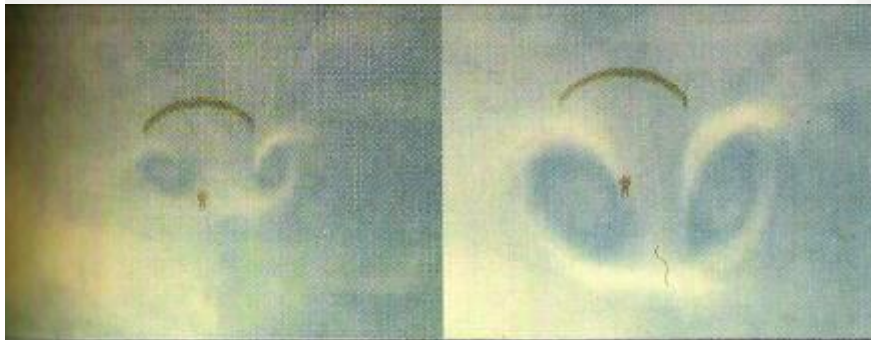
Vingetippvirvlene er motstand som «stjeler» glidetall.

Indusert motstand er lavest ved stor fart (lavere angrepsvinkel; mindre trykkforskjell; mindre å utligne).

Virvlene gir turbulens bak vingen!

Høyt sideforhold gir mindre vingetippvirvler.

- Minsker ved økt hastighet
- Øker ved redusert hastighet



Overflatemotstand

Rett over vingen er det et stillestående luftlag. Når luftstrømmen passerer over dette luftlaget skapes det en friksjon mellom luftlagene. Denne friksjonen lager en motstand som vi kaller friksjonsmotstand.

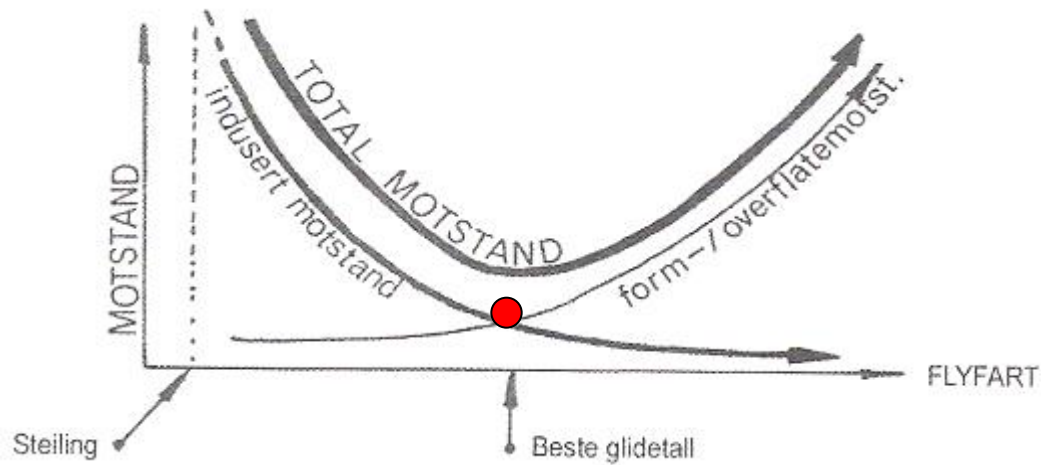
- *Overflate/friksjonsmotstand øker med hastigheten.*

Formmotstand

Kroppen til piloten, sele, liner, dupperingser ol. Det er ikke bare for å se bra ut at skihoppere, alpinister og syklister kler seg i kondomdresser.

- *Formmotstand øker med hastigheten.*

Totalmotstand



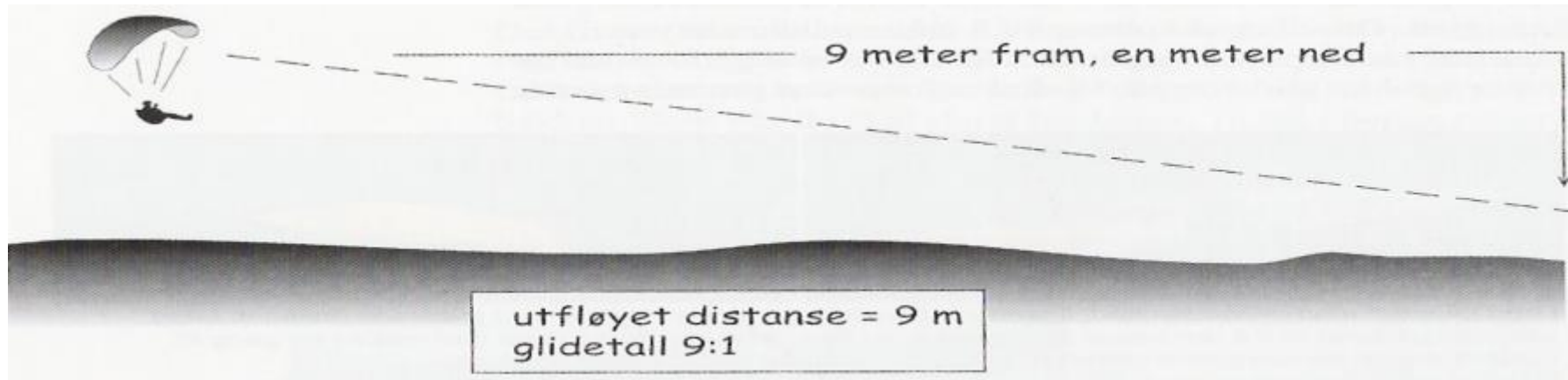
Indusert motstand øker kraftig ned mot Steilegrensa.

Form-/overflatemotstand øker kraftig med økt flyfart.

Totalmotstand = indusert + form-/overflatemotstand.

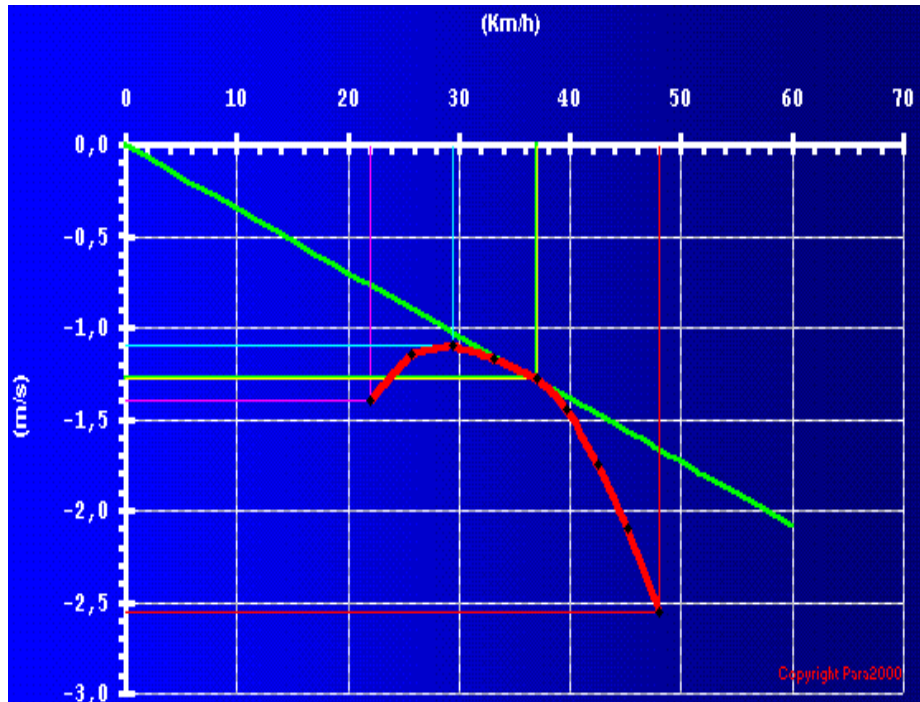
Der totalmotstanden er minst, finner man *beste glidetall*.

Glidetall



- Glidetallet angir hvor mange meter glideren flyr fremover for hver meter den «faller» ned
- Aerodynamisk; Glidetall = løft/motstand
- Glidetall varierer med flyfarten
- «Beste glidetall» nyere paraglidere; 7,5 – 9,5

Hastighetspolarerer



For å få beste glidetall og komme lengst på gjenværende høyde.

Polaren (rød) angir synk (vertikalhastighet) ved ulike horisontalhastigheter

Fra polaren avleser vi:

Minste flyfart, minimum synk, fart ved beste glidetall, toppfart.

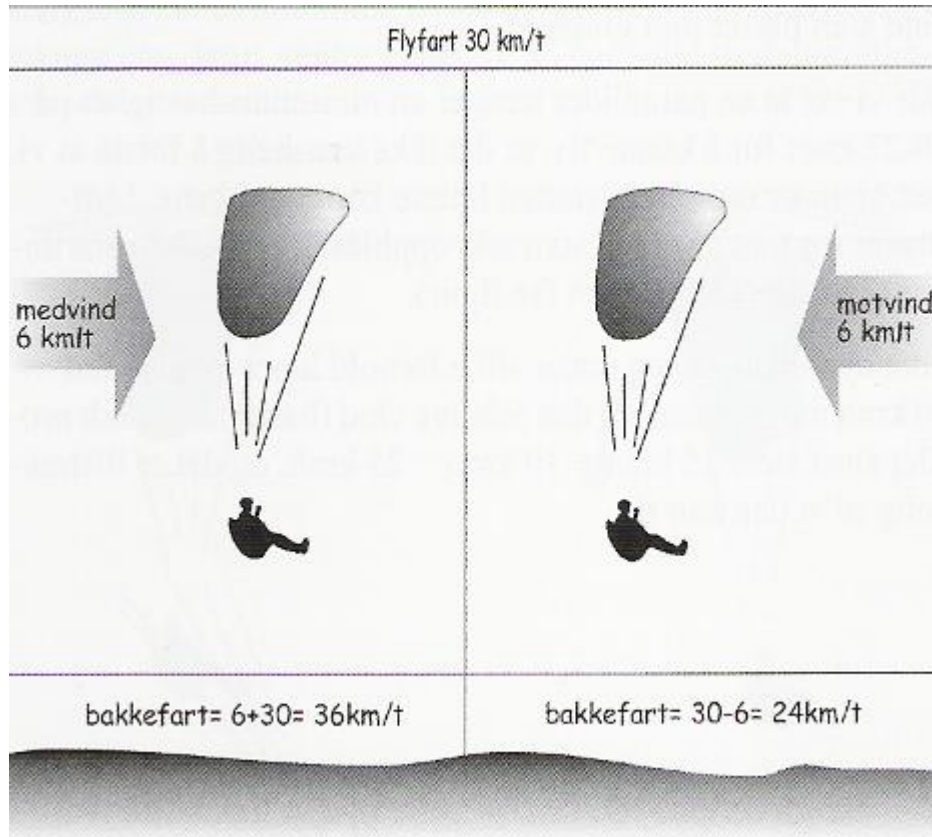
I praksis (for beste glidetall):

I motvind: full fart, slipp opp bremsen.

I medvind: trekk litt brems.

[Fin forklaring her](#)

Flyfart og bakkefart



Flyfart = fart i forhold til luften glideren flyr gjennom.

Bakkefart = fart i forhold til bakken.

Alle aerodynamiske reaksjoner relateres til flyfarten (og endringer i denne), ikke bakkefarten.

Bakkefart i medvind: flyfart + vindhastighet
Bakkefart i motvind: flyfart – vindhastighet

Flyfart er viktig for evt. steiling

Bakkefart er viktig med tanke på landing