

Aerodynamik

Swedish Paragliding Event 2008
1-2 november

Ori Levin

Behöver man förstå hur man flyger
för att kunna flyga?

Nej



Kan man bli en bättre och säkrare pilot
om man förstår hur man flyger?

Ja, det tror i alla fall jag

Ori Levin

Flugit sedan Nya Zeeland 1995

Flugit ca 420 timmar

Nybliven instruktör

Läste Teknisk Fysik på KTH

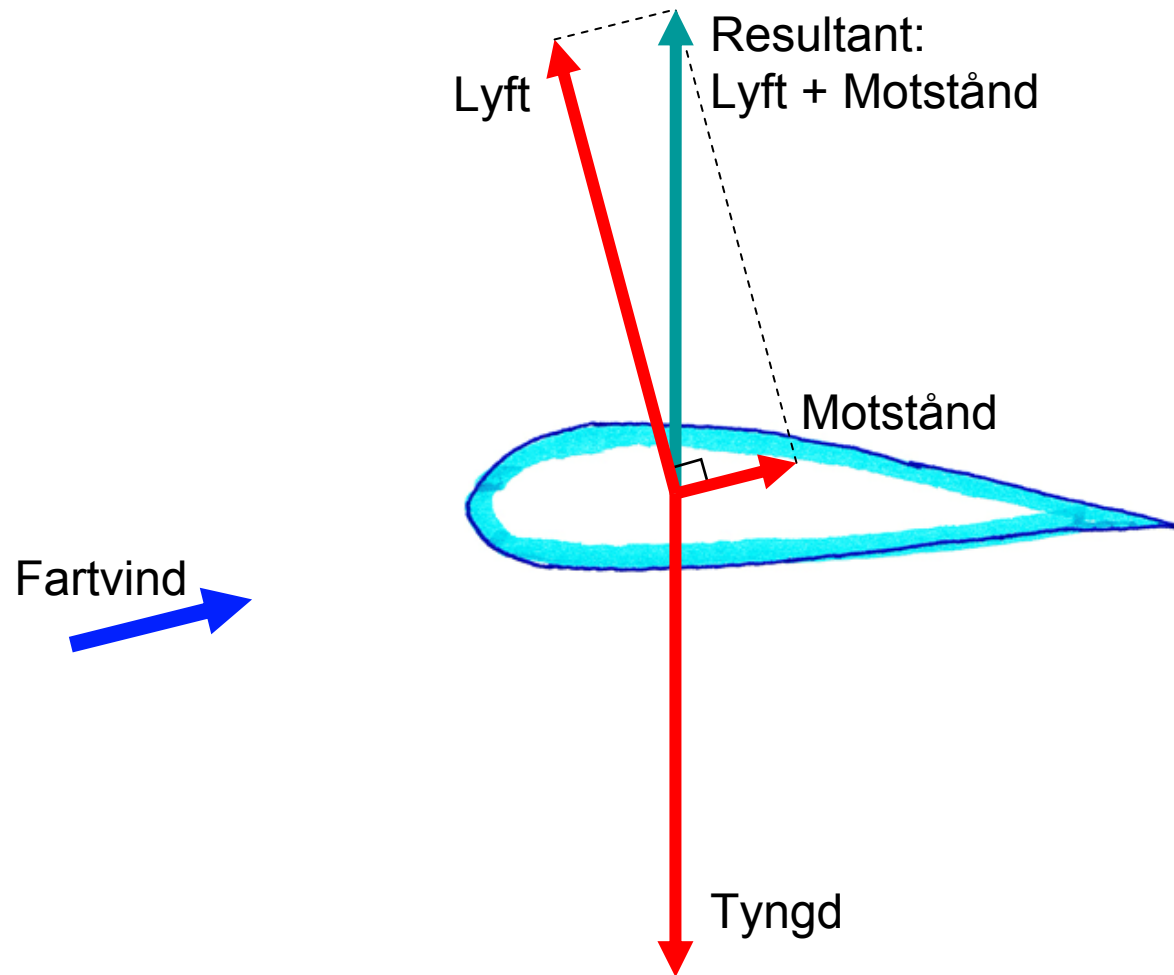
Forskat inom strömningsmekanik

Bor i Älvsjö med Linda och Sibel



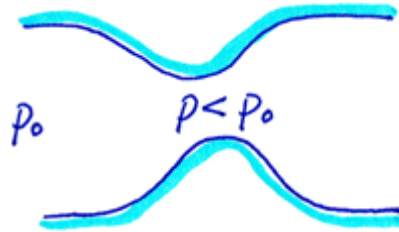
Ori flyger i Annecy, foto Jonas Pannagel

Krafter verkande på en vinge

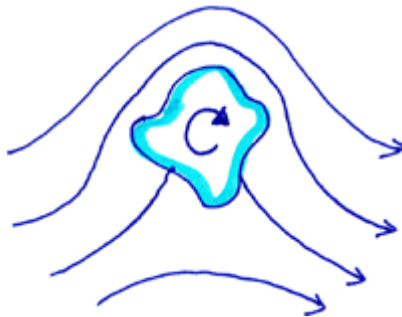


Tre sätt att förklara lyft

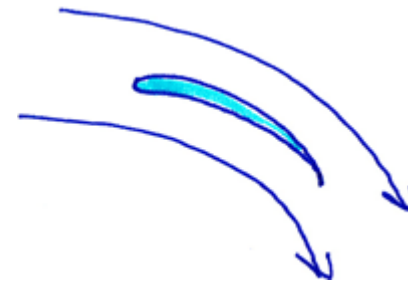
Bernoullis ekvation



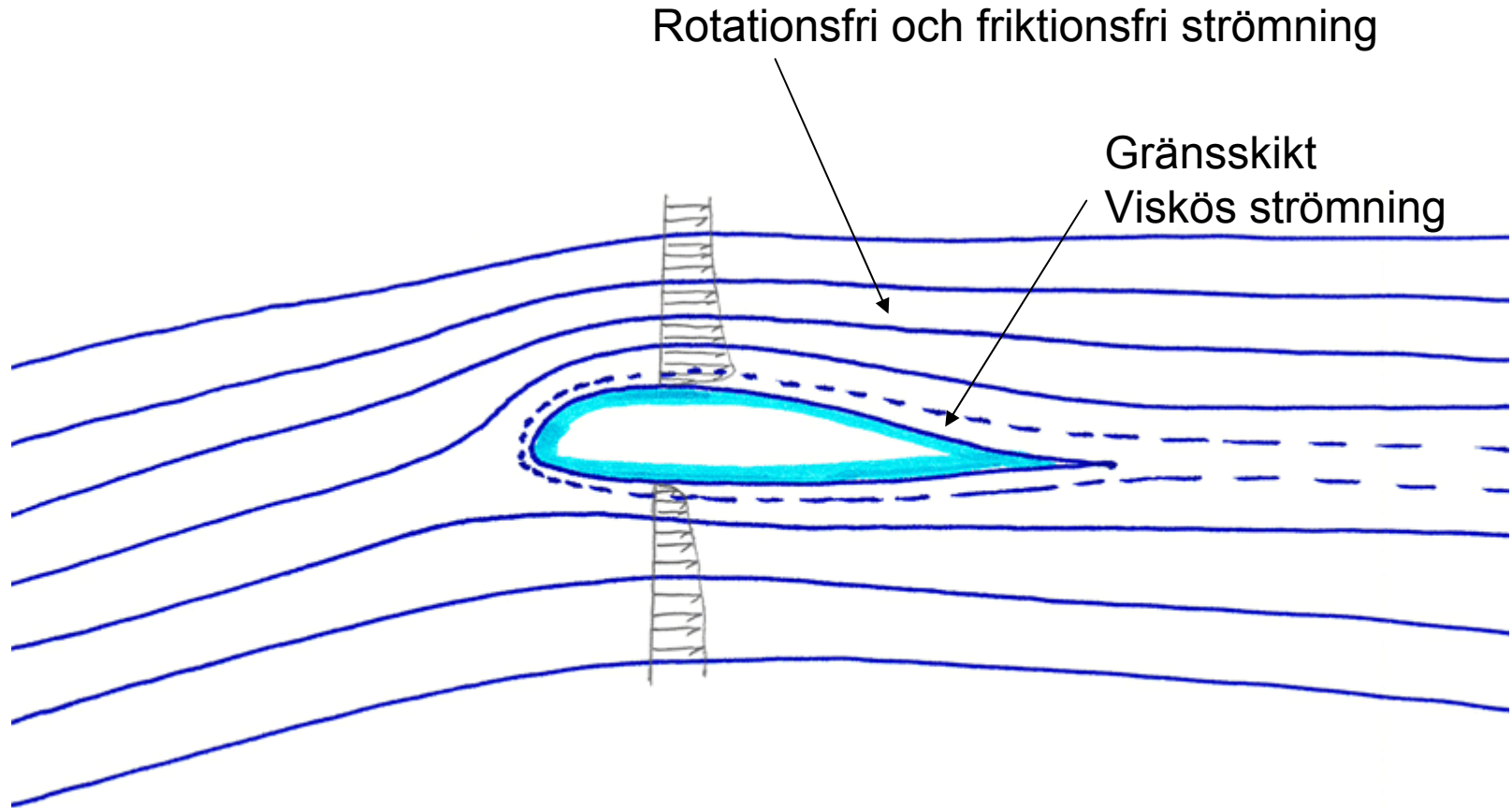
Cirkulation



Avlänkning



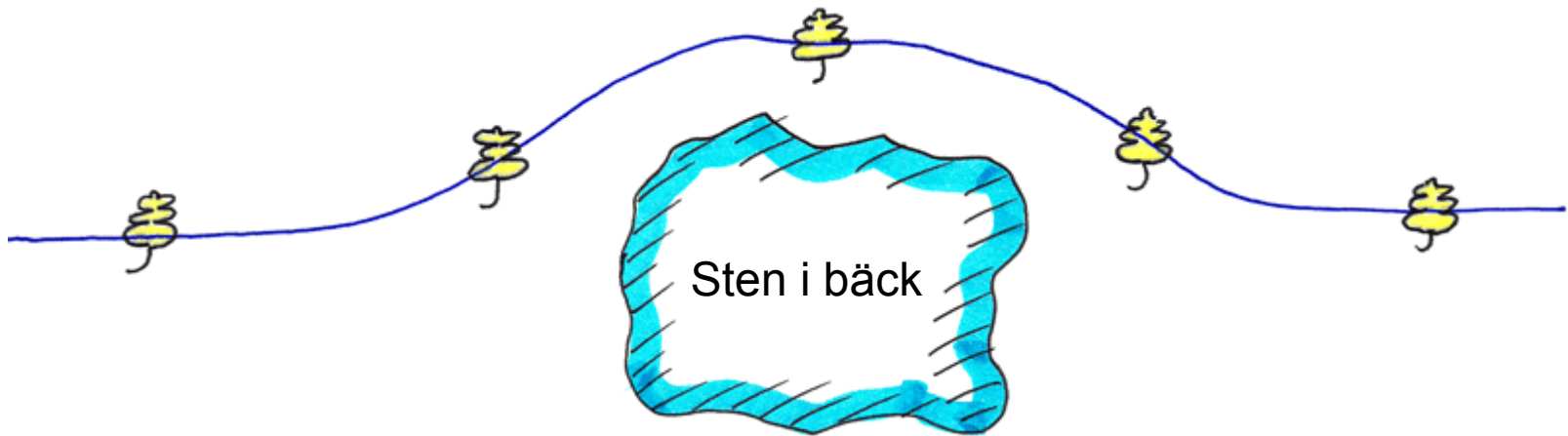
Strömningen runt en vingprofil



Rotationsfri strömning

Rotationsfri strömning kring en sten i en bäck.

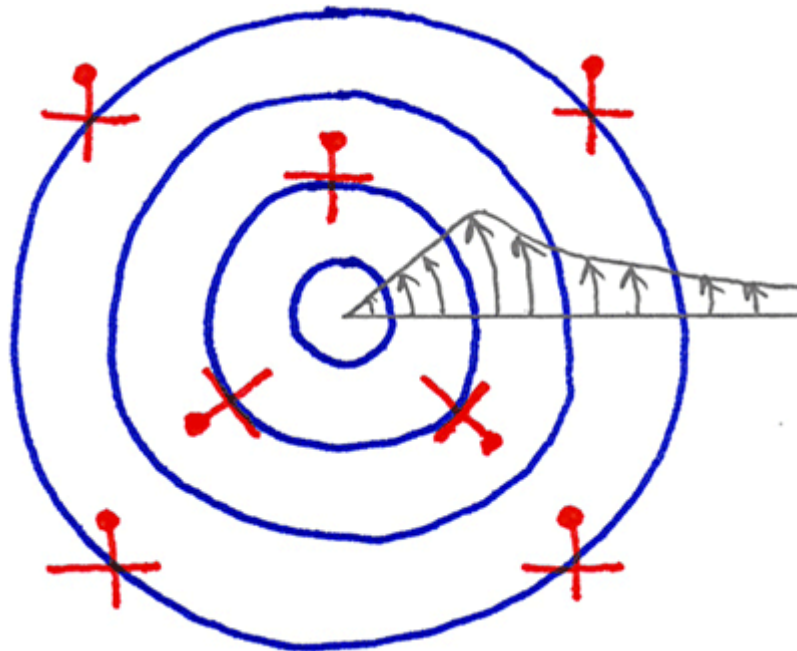
Ett eklöv på ytan behåller sin orientering.



Rotationsfri strömning

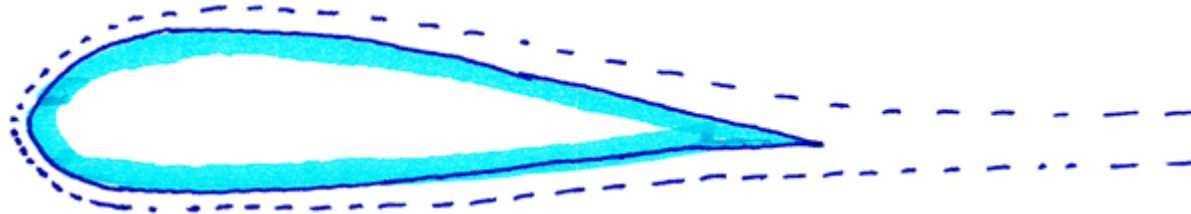
Strömning med och utan rotation i en virvel.

Typisk strömning i dust devils och vingspetsvirvlar.



Bernoullis ekvation

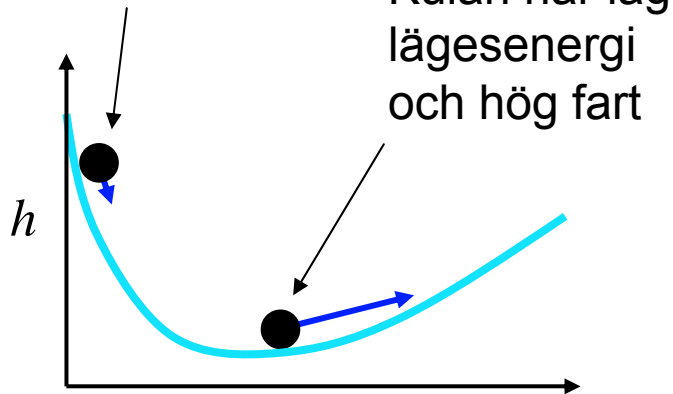
Bernoullis ekvation gäller utanför gränsskiktet där strömningen är rotationsfri och friktionsfri.



Bernoullis ekvation säger i princip att summan av potentiell energi och rörelseenergi är konstant.

Bernoullis ekvation

Kulan har hög
lägesenergi
och låg fart

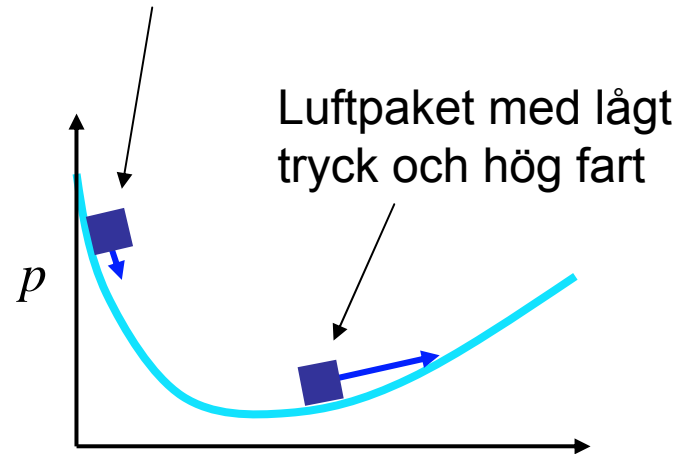


Kulan har låg
lägesenergi
och hög fart

$$mgh + \frac{1}{2}mv^2 = konst$$

lägesenergi +
rörelseenergi = konst

Luftpaket med högt
tryck och låg fart



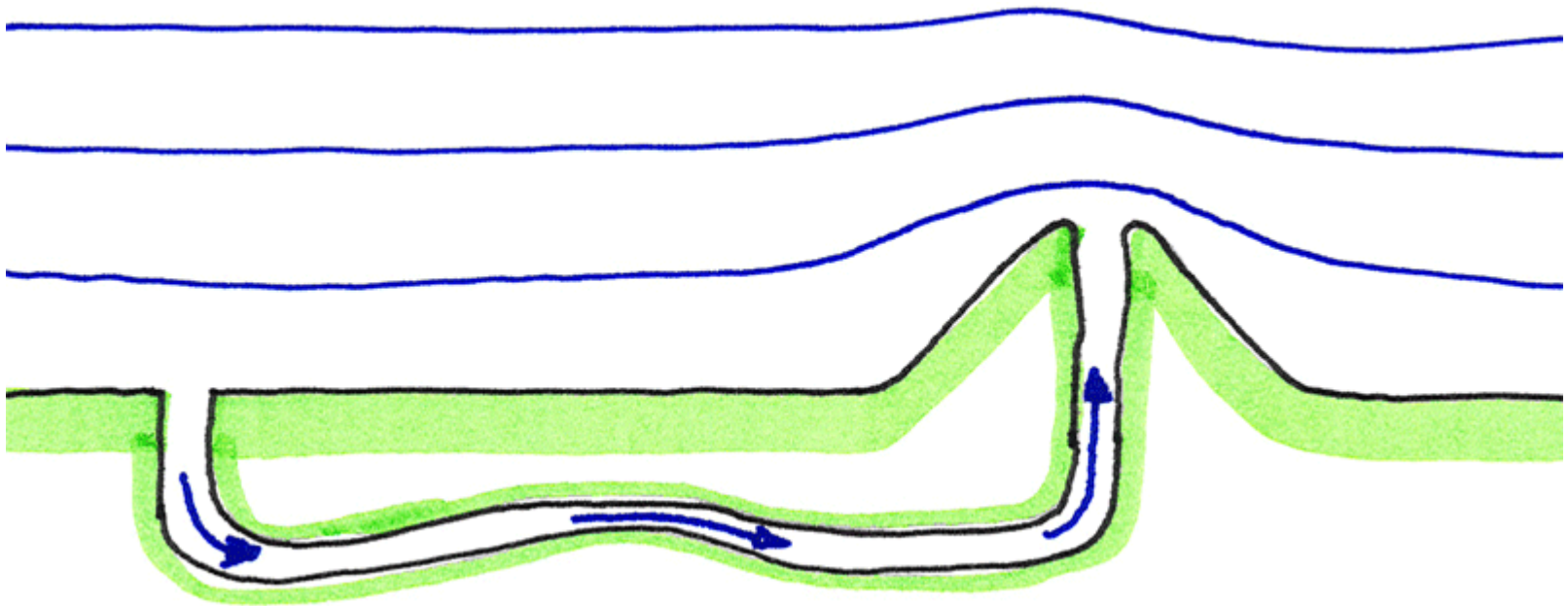
Luftpaket med lågt
tryck och hög fart

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 = konst$$

statiskt tryck +
dynamiskt tryck = konst

Bernoullis ekvation

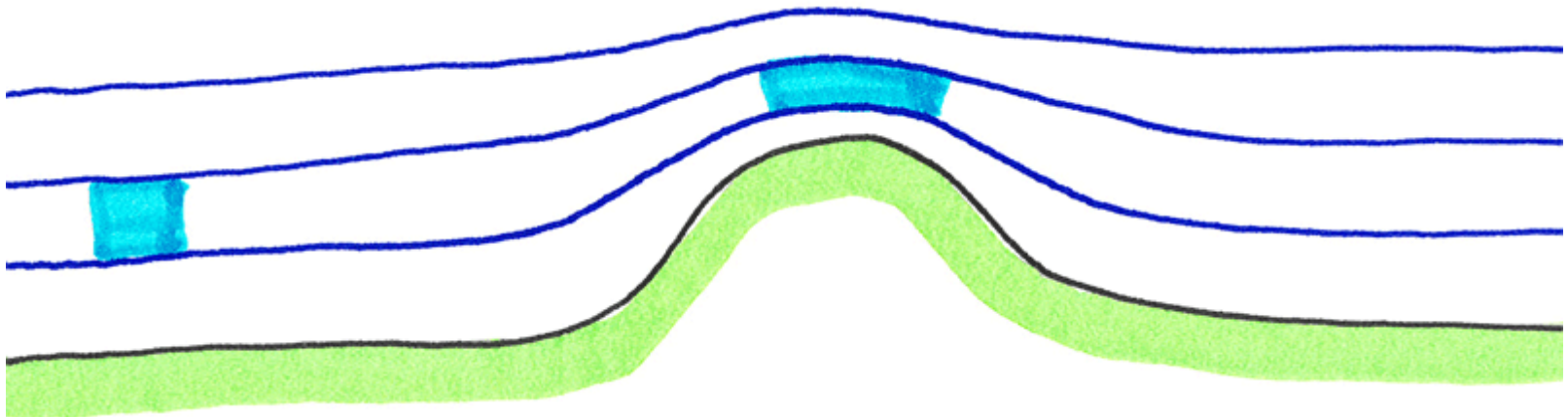
Vissa djur utnyttjar Bernoullis princip för att få ventilation i sina tunnlar.



Bernoullis ekvation

Strömningshastigheten ökar över en kulle därför att:

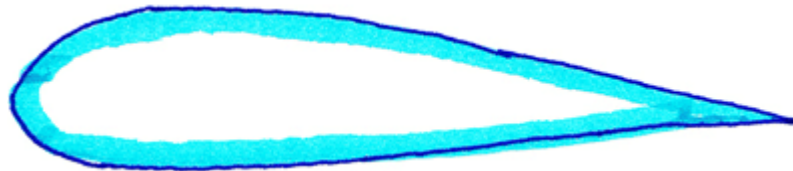
Ett luftpaket måste bevara sin massa → för inkompressibel strömning måste luftpaketet bevara sin volym.



Bernoullis ekvation

Vingens form och anfallsvinkel gör så att strömningshastigheten ökar ovanför vingen och minskar under.

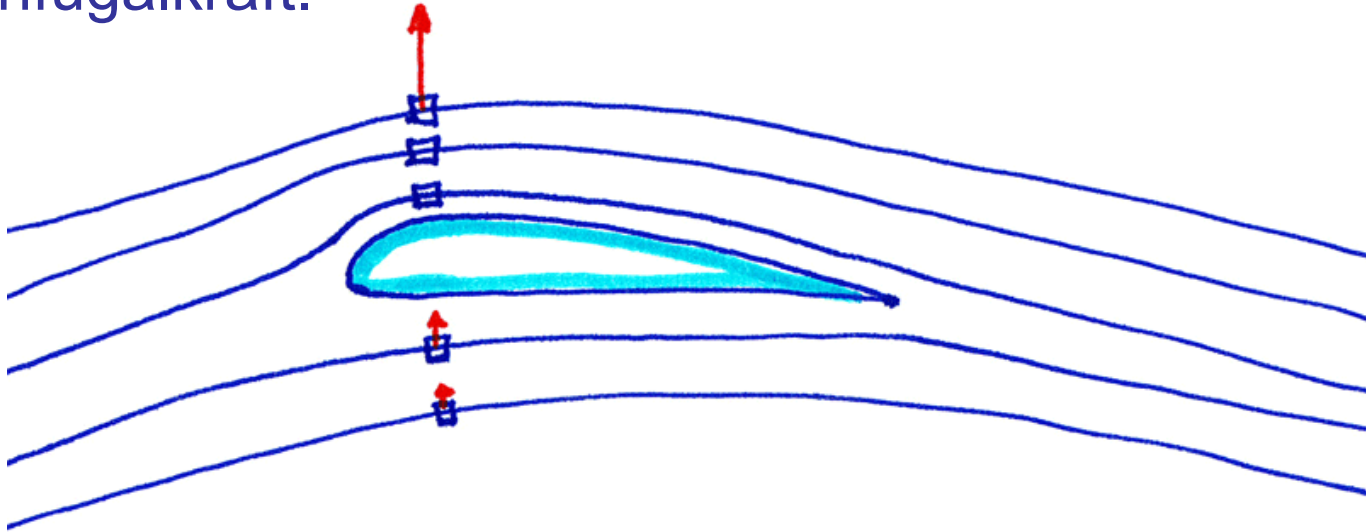
Enligt Bernoulli så minskar då trycket på ovansidan och ökar på undersidan.



Tryckskillnaden ger upphov till lyft.

Avlänkning

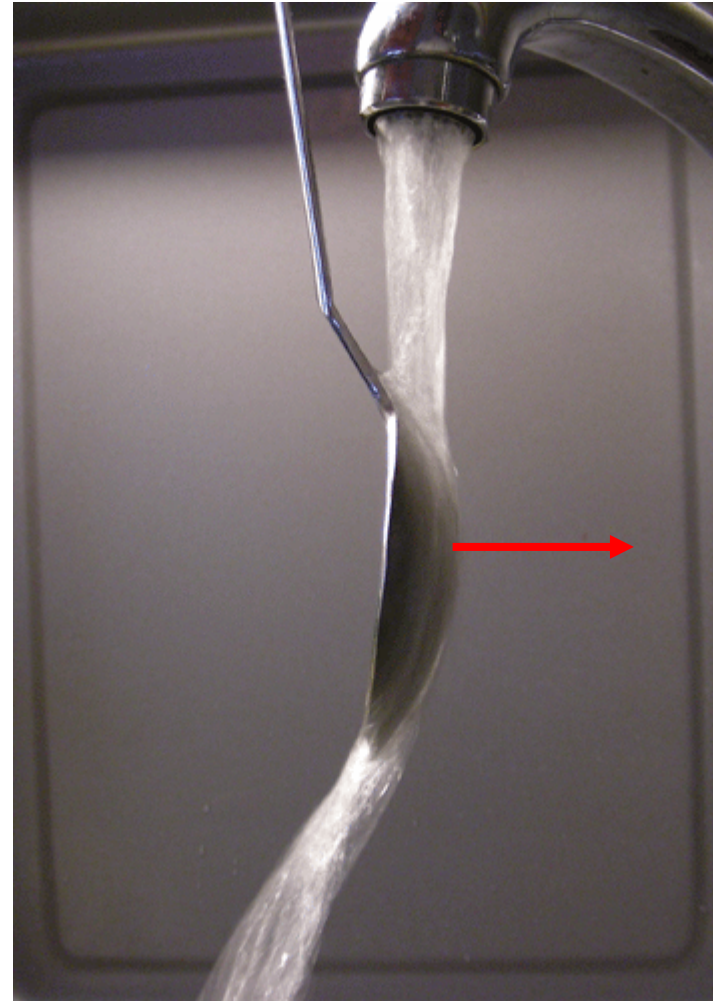
Luften tvingas ändra riktning och påverkas av en centrifugalkraft.



En tryckskillnad bildas för att hålla luften på plats längs vingens yta. Tryckskillnaden ger upphov till lyft.

Avlänkning

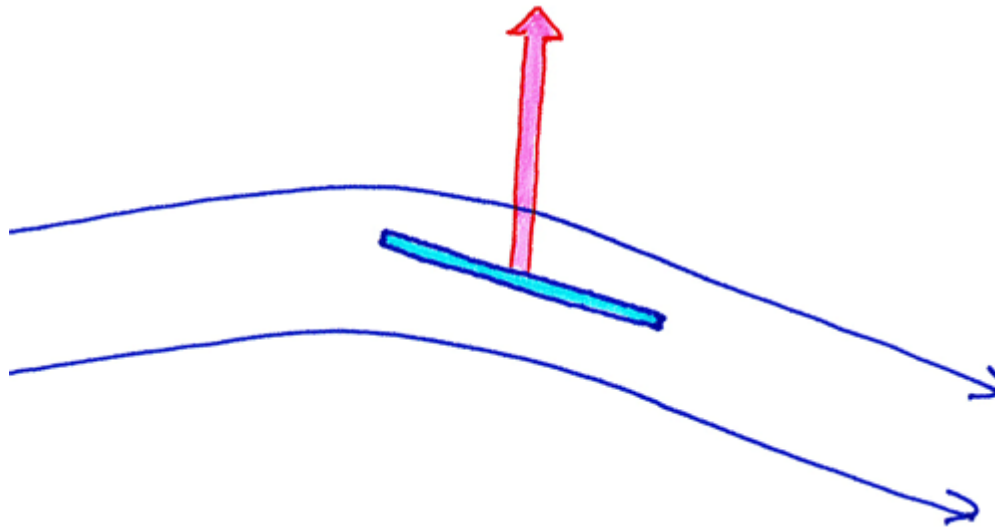
En sked kan böja av vattenstrålen från en kran och generera en kraft.



Avlänkning

Ett annat sätt att se det på:

Luft skickas nedåt och en reaktionskraft, lyft, bildas uppåt.



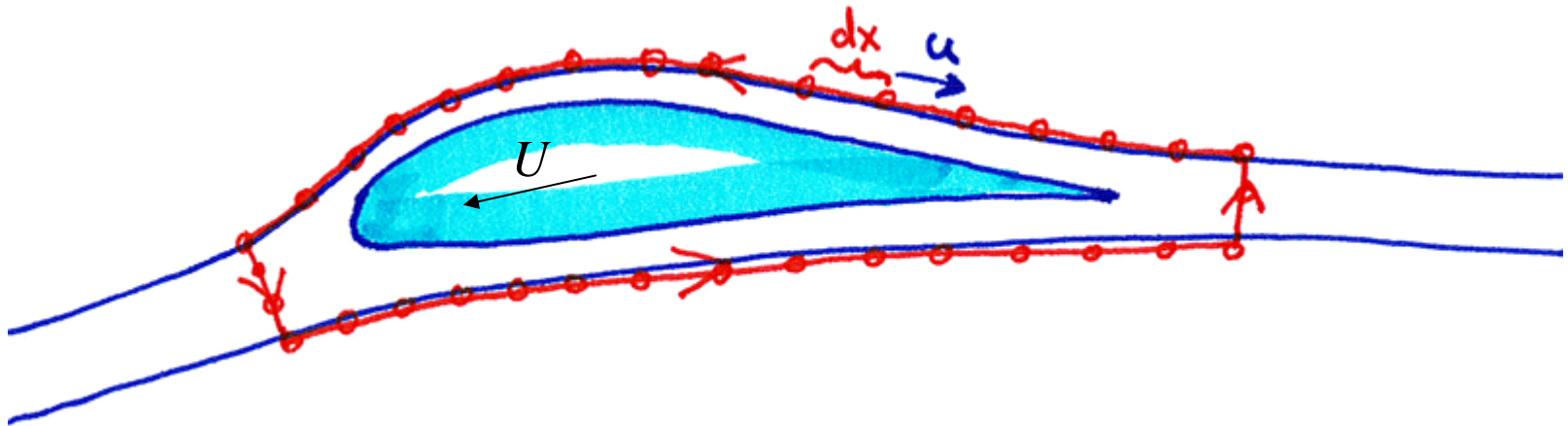
Cirkulation

Lyftkraften i rotationsfri och friktionsfri strömning är

$$L = -\rho U \Gamma$$

där cirkulationen är "summan av hastigheten" längs en sluten bana runt vingprofilen

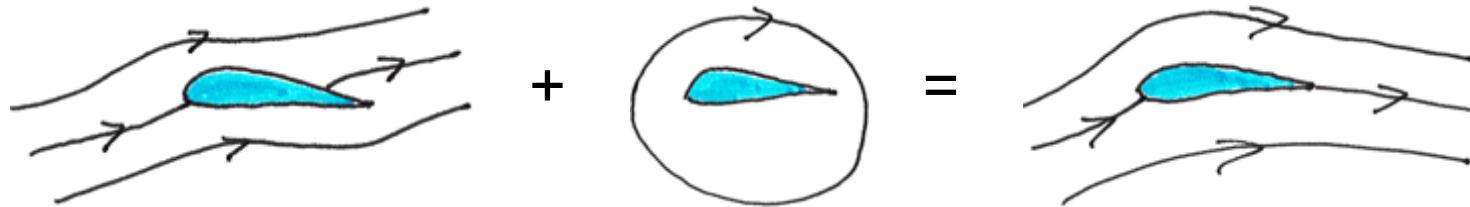
$$\Gamma = \oint \mathbf{u} \cdot d\mathbf{x}$$



Cirkulation

Man kan dela upp strömningen kring en vinge i plan strömning och cirkulation.

Plan strömning i kombination med cirkulation ger lyft.



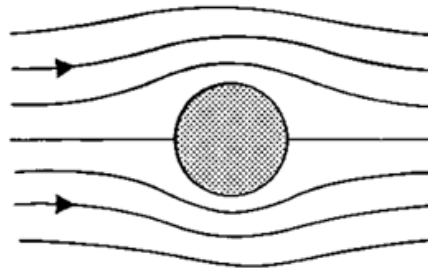
Plan strömning

Cirkulation

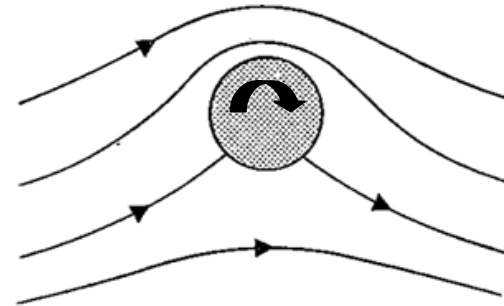
Cirkulation

En roterande cylinder i plan strömning ger lyft.

Plan strömning



Plan strömning med cirkulation

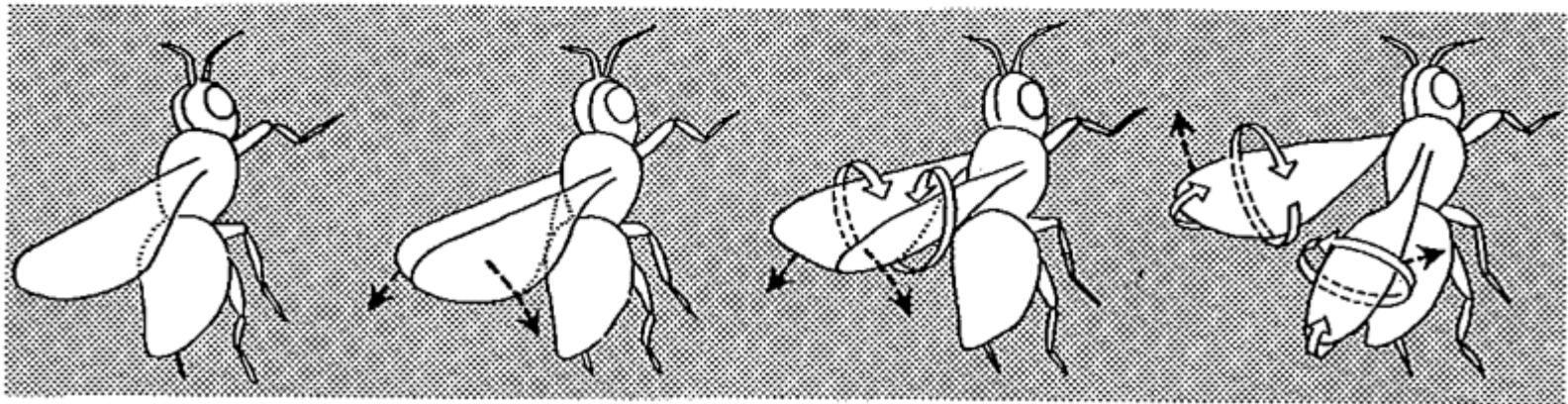
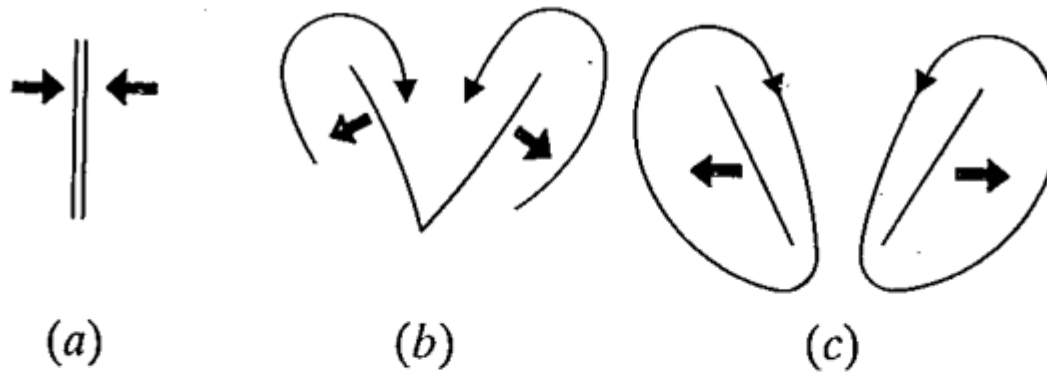


Cirkulation

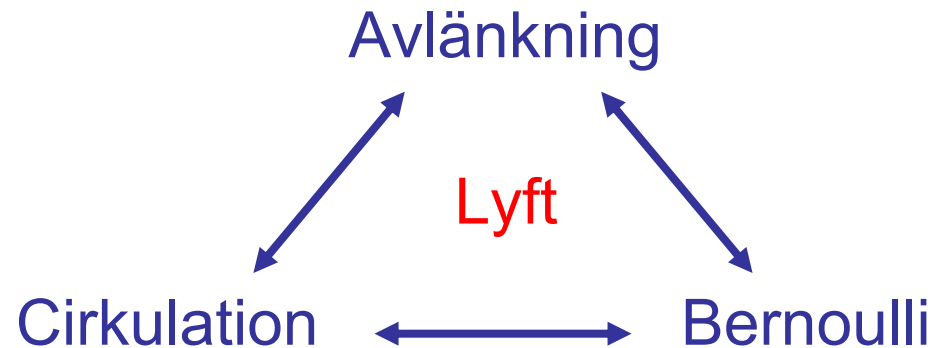
En roterande plan platta genererar också lyft.

Cirkulation

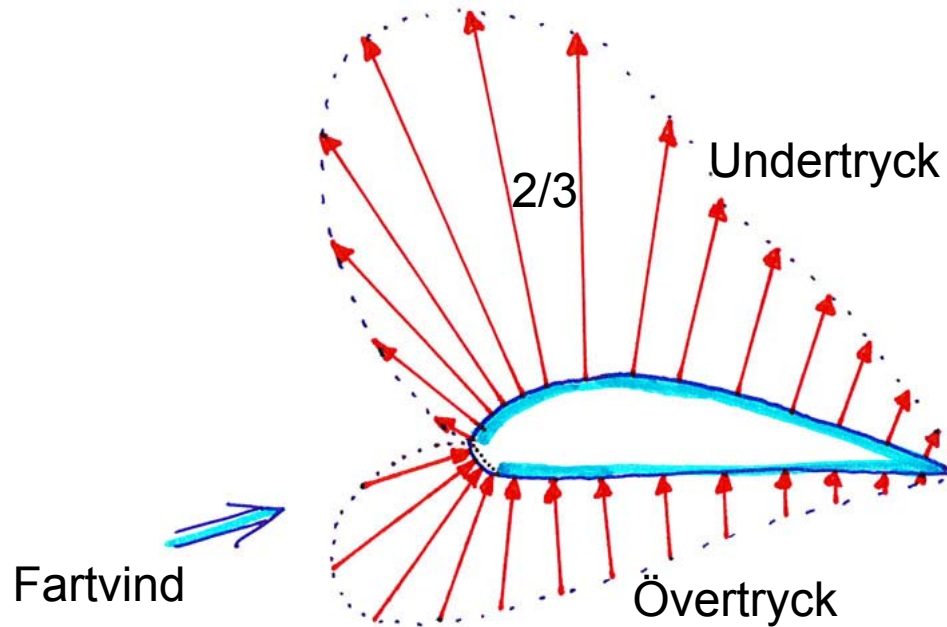
Cirkulation förklarar hur flugan kan flyga.



De tre förklaringarna förklarar samma sak på olika sätt



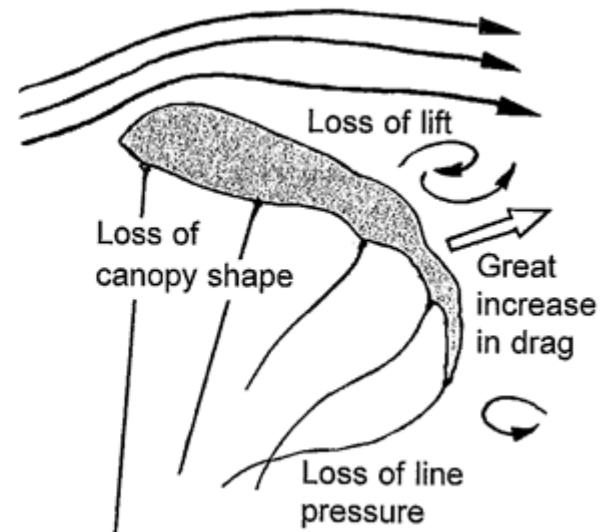
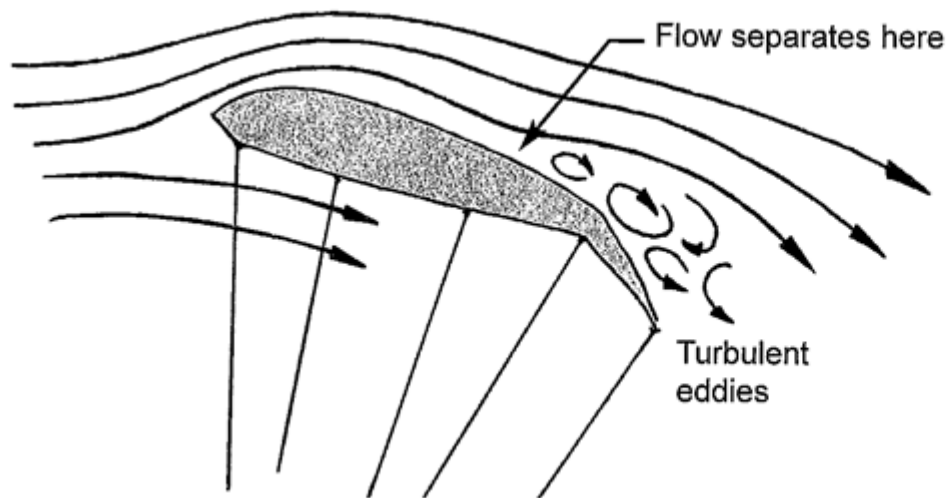
Tryckfördelningen runt en vinge



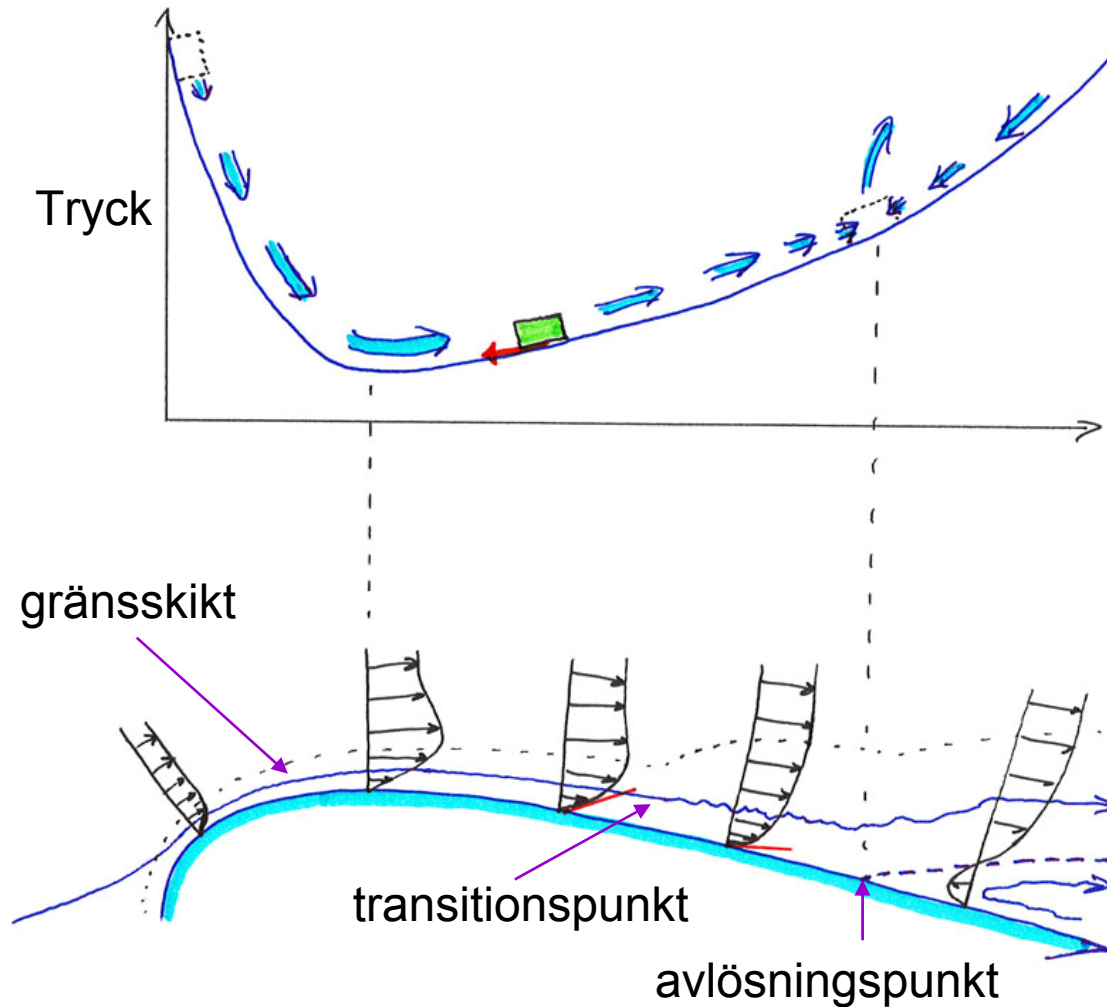
Vid för stort bromsuttag kan vingen ställa

Strömningen orkar inte ligga ann mot vingens ovansida.

Avlösningen ändrar aerodynamiken så att lyftkraften försämras.



Gränsskikt och förklaringen till stall

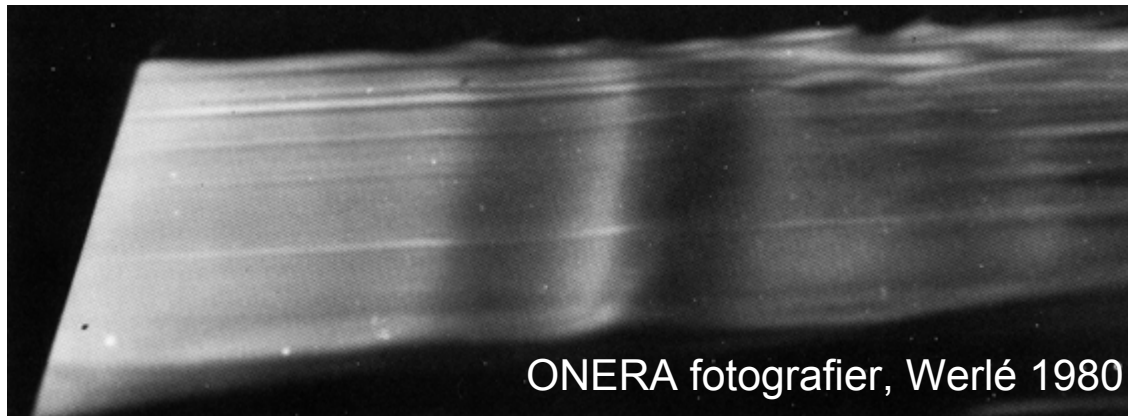


Faktorer som kan få störningar att bildas i gränsskikt

- Finskalig turbulens i luften
- Ojämnheter på ytan
- Kanter och veck på ytan
- Ljudvågor
- Rörelser och fladder av ytan

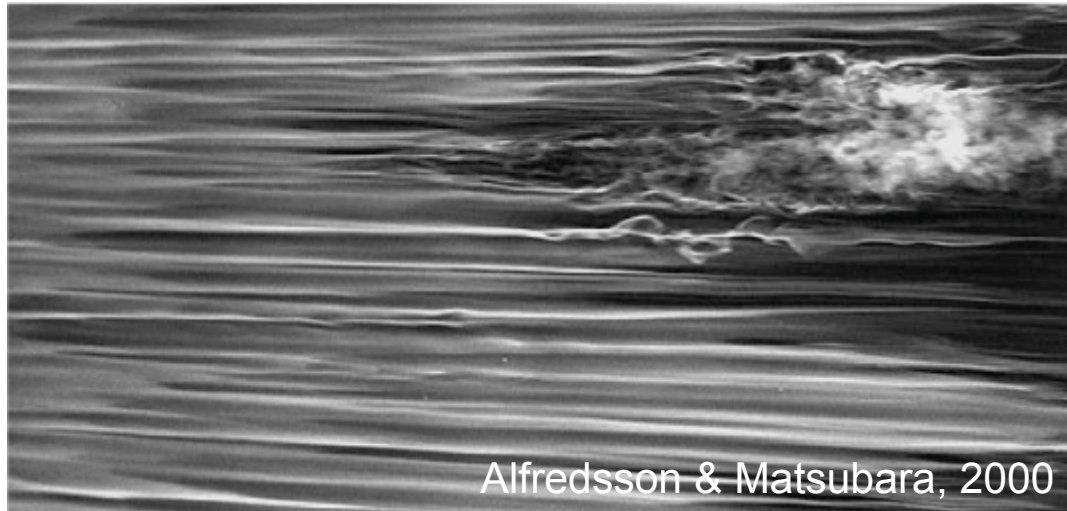
Vågor som kan växa till i gränssikt

När dessa vågor blir tillräckligt stora bryter de ihop och bildar turbulens.



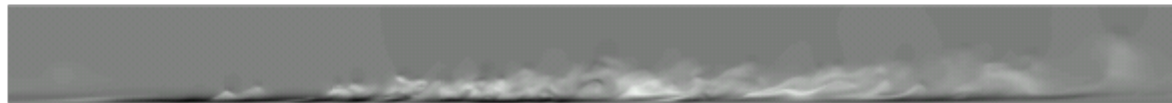
Stråk som kan växa till i gränssikt

När dessa stråk blir tillräckligt stora bryter de ihop och bildar turbulens.

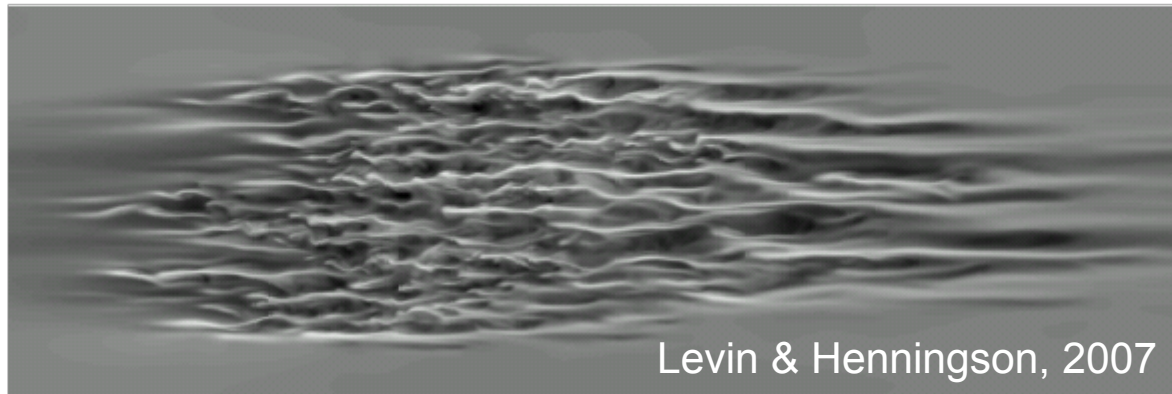


Lokala störningar kan växa i gränsskikt

När dessa störningar blir tillräckligt stora bryter de ihop och bildar turbulenta fläckar.



(b)



Levin & Henningson, 2007

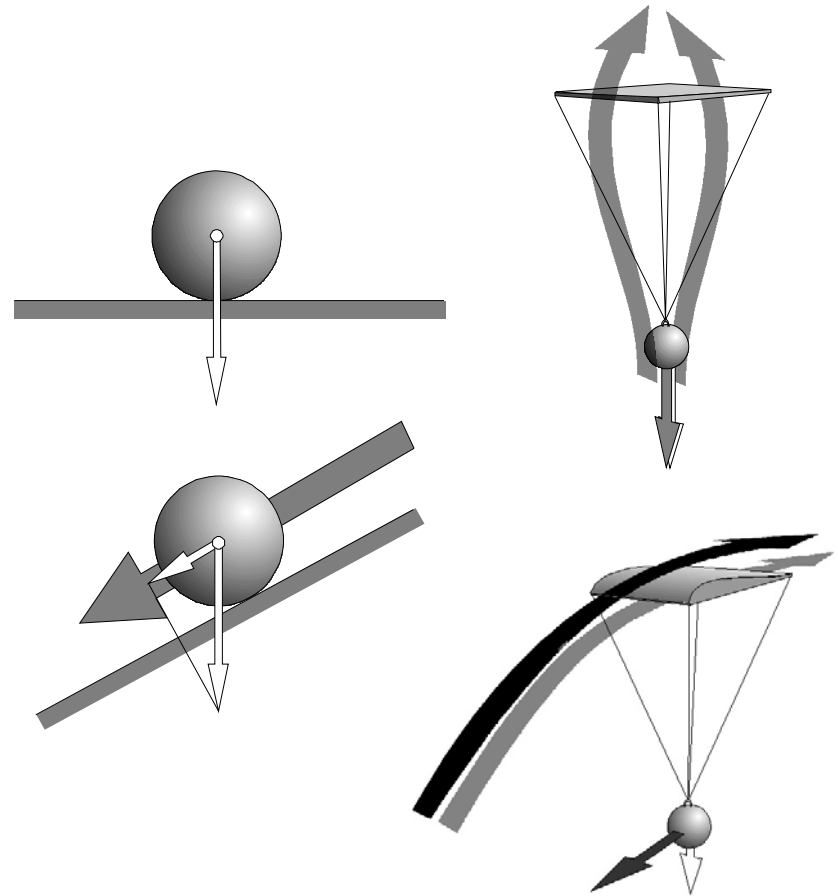
(a)

Faktorer som påverkar lyftkraften

Tyngden gör att vi får fart och glider ner.

Av *farten* bildas en lyftkraft.

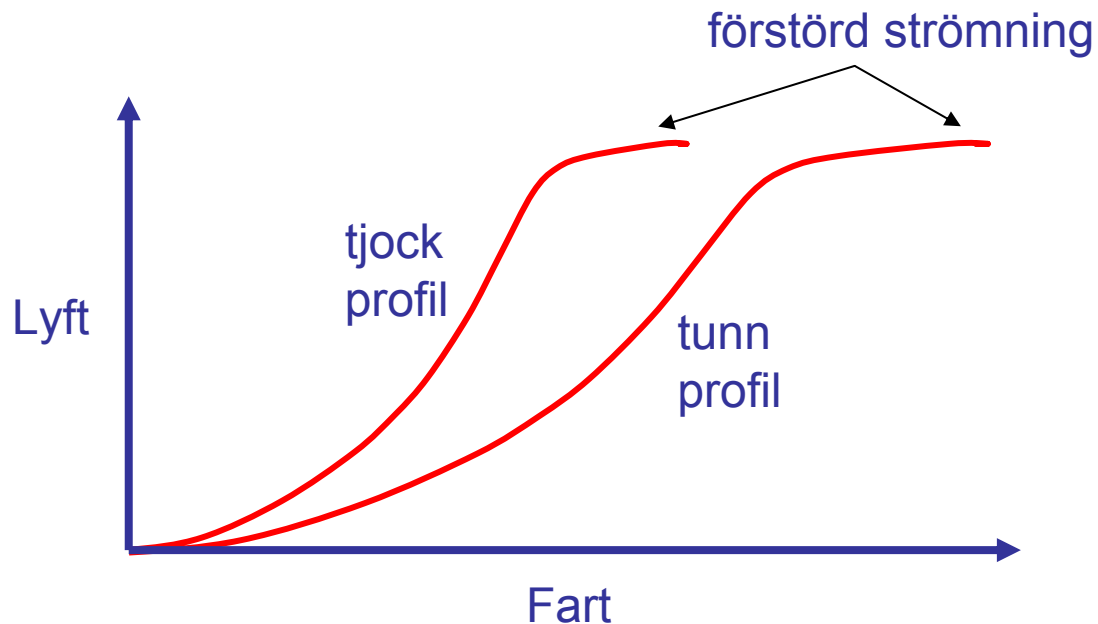
Luftens *densitet* och vingens *form*, *yta* och *anfallsvinkel* påverkar också lyftkraften.



Hur fart och profiltjocklek påverkar lyftkraften

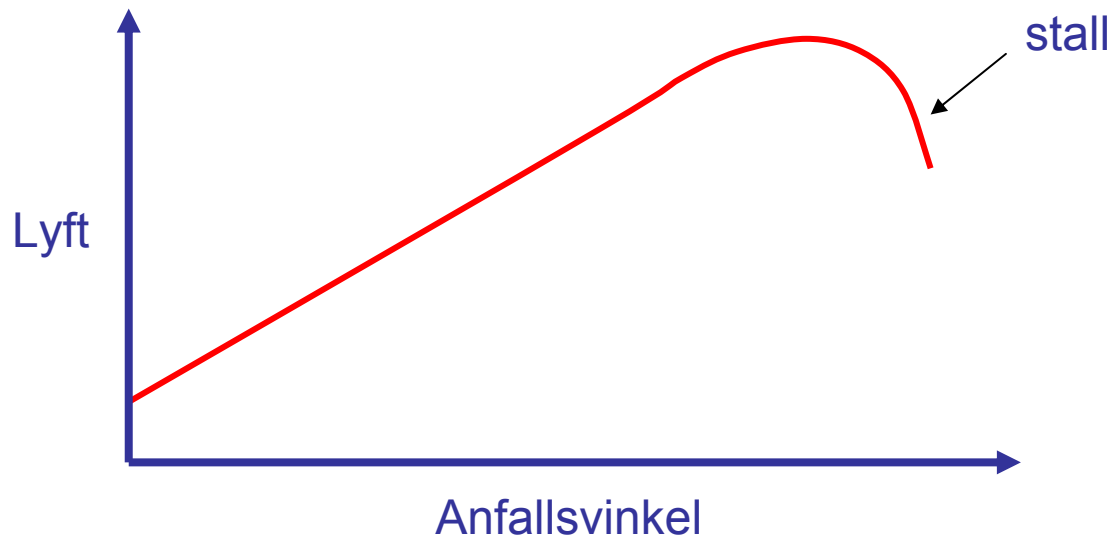
Lyftkraften ökar kvadratisk med farten tills strömningen kring vingen blir förstörd.

Tjockare profil ger samma lyftkraft vid lägre fart.



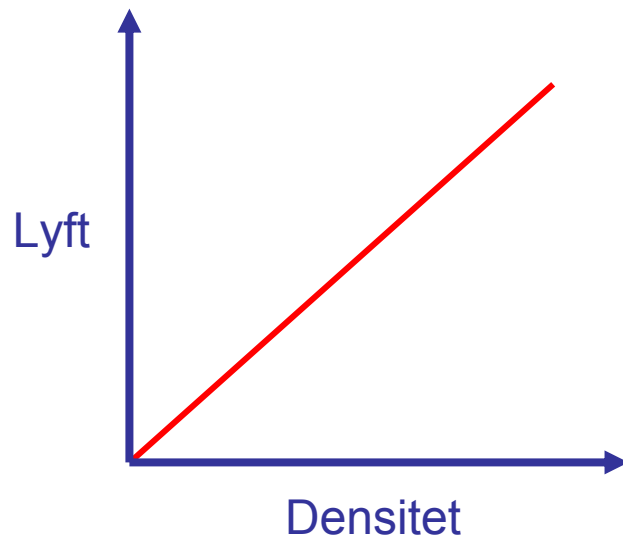
Hur anfallsvingeln påverkar lyftkraften

Lyftkraften ökar linjärt med anfallsvinkeln tills nära stall.

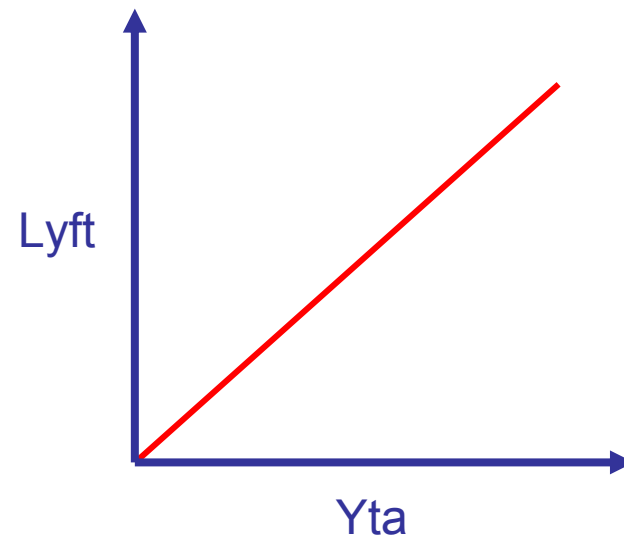


Hur ytan och luftens densitet påverkar lyftkraften

Lyftkraften ökar linjärt med luftens densitet.



Lyftkraften ökar linjärt med ytan.



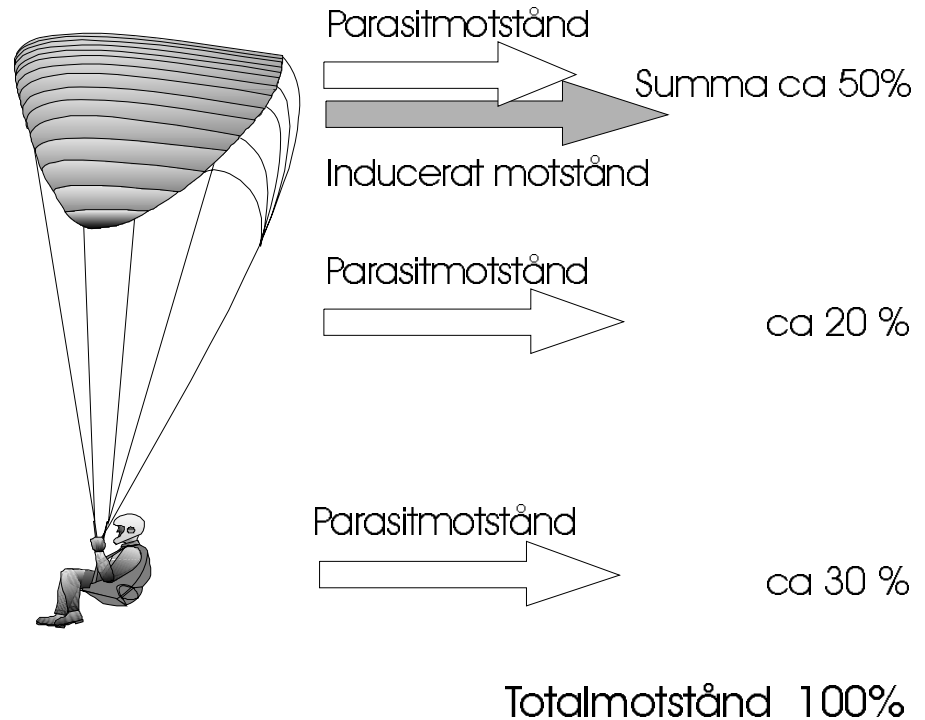
Motståndskrafter

Motståndskrafterna:

- Parasitmotstånd
- Inducerat motstånd

Parasitmotstånd:

- Friktionsmotstånd
- Formmotstånd
- Interferensmotstånd

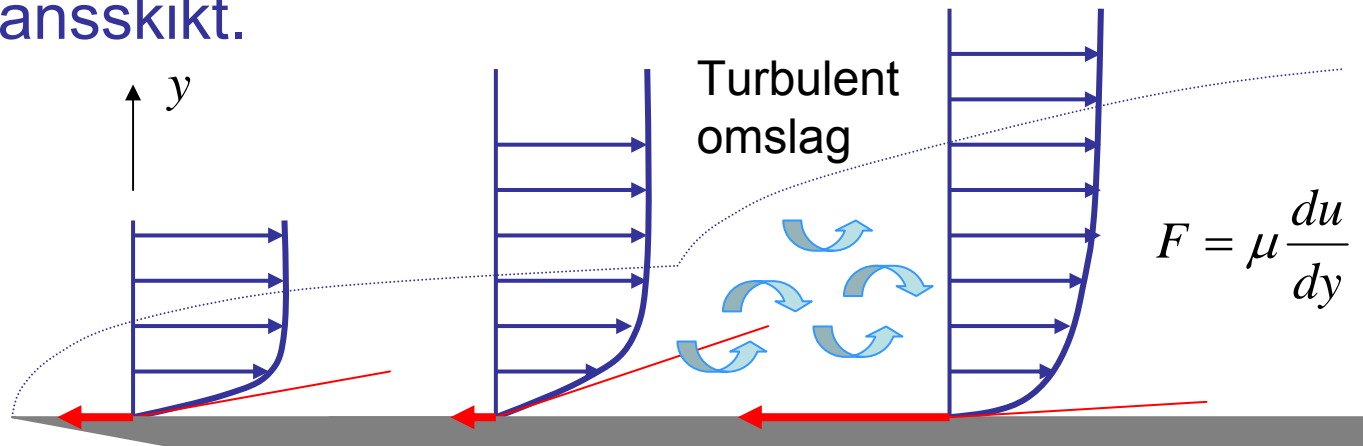


Friktionsmotstånd

Friktionsmotståndet beror på det gränsskikt som bildas kring föremål.

Tunna gränsskikt ger högre friktion än tjocka gränsskikt.

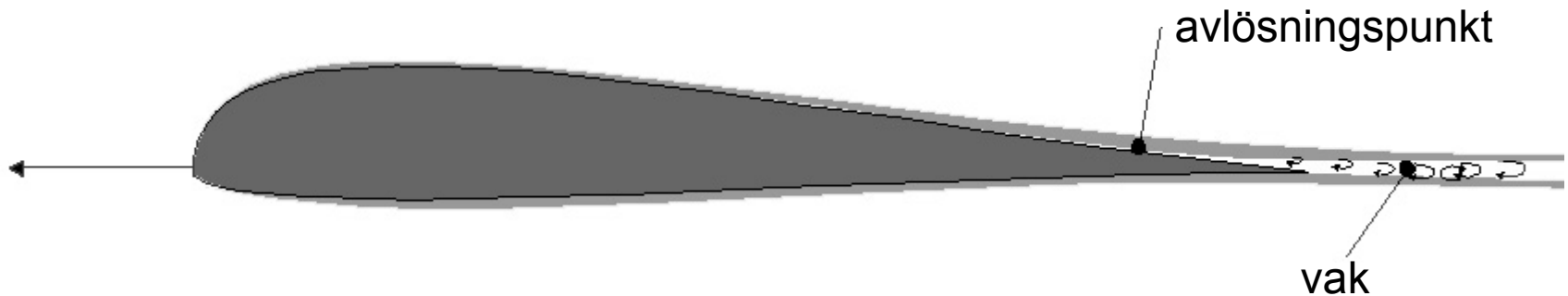
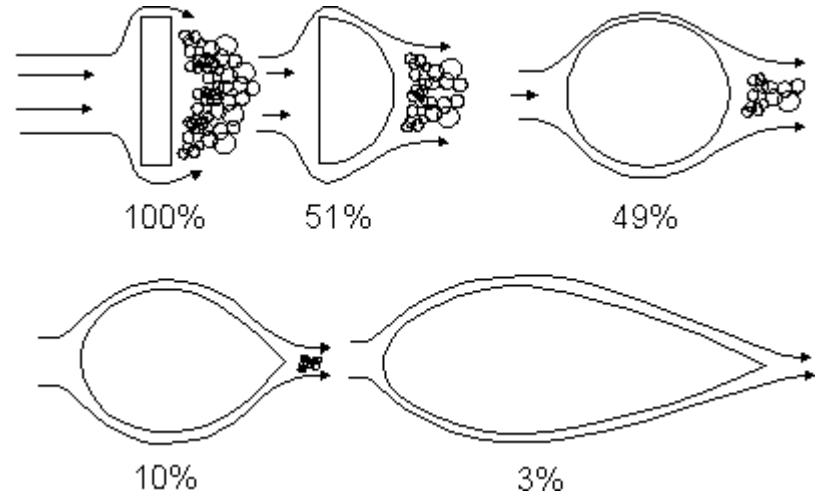
Turbulenta gränsskikt ger högre friktion än laminära gränsskikt.



Formmotstånd

Formmotstånd beror på den turbulenta vak som bildas bakom föremål.

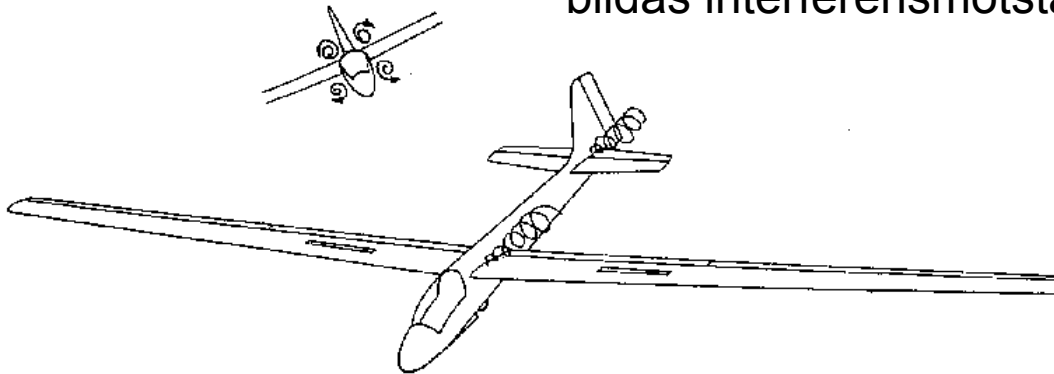
Föremålets form är av stor betydelse för formmotståndet.



Interferensmotstånd

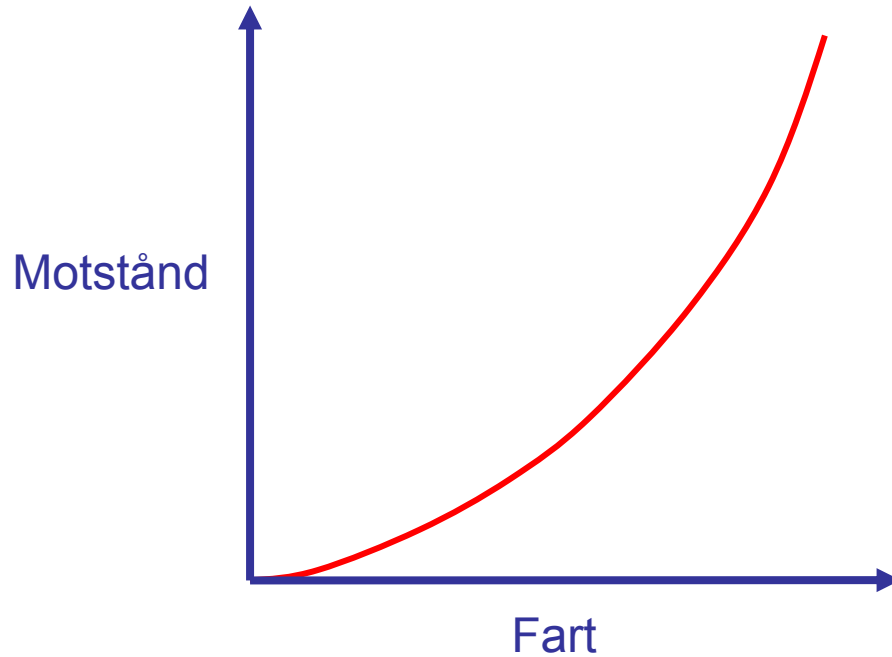
Interferensmotstånd beror på virvlar som skapas vid övergångar mellan olika strömningar.

Där vingen sitter fast i flygplanskroppen bildas interferensmotstånd

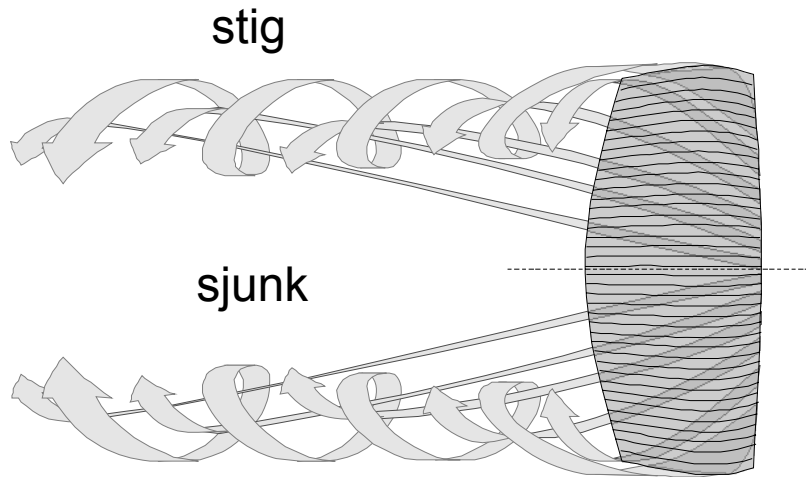


Parasitmotstånd

Parasitmotståndet ökar kvadratisk med farten



Inducerat motstånd



Inducerat motstånd beror på tippvirvlar som bildas då luften vill strömma runt vingpetsen från det höga trycket på vingens undersida till det låga trycket på vingens ovansida.



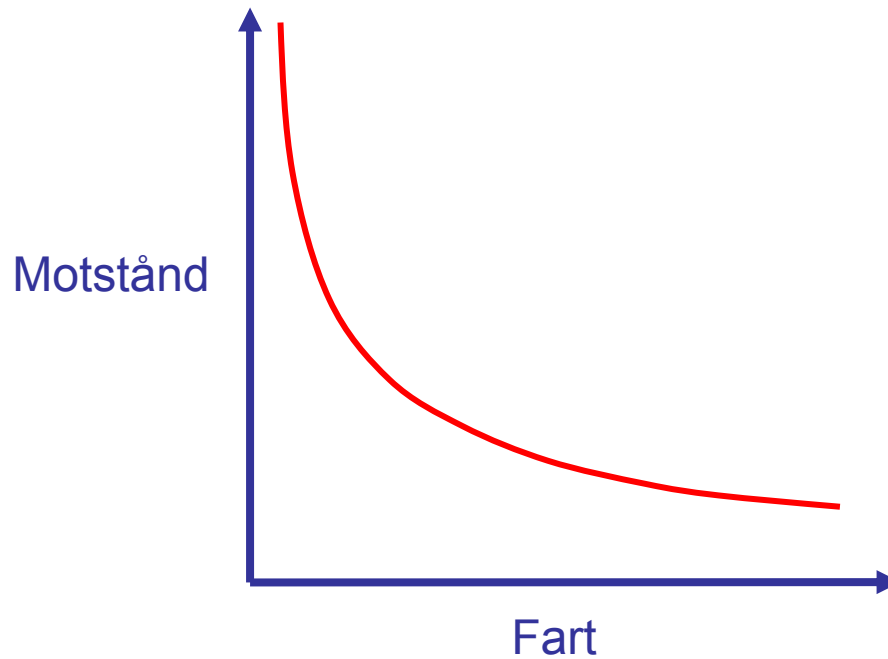
Inducerat motstånd

Fåglar spar energi genom att flyga i V-formation.



Inducerat motstånd

Det inducerade motståndet minskar omvänt kvadratisk med farten

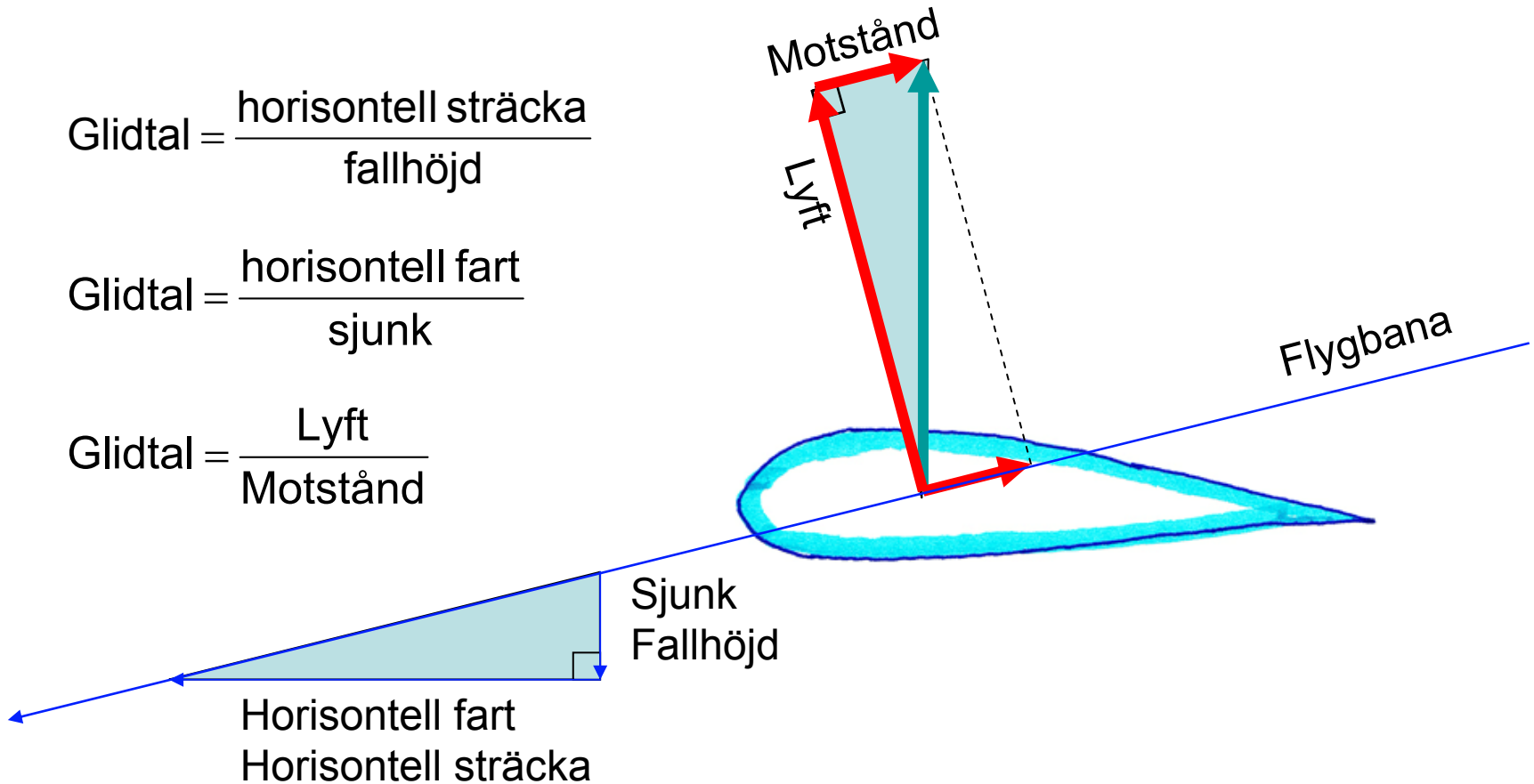


Glidtal

$$\text{Glidtal} = \frac{\text{horisontell sträcka}}{\text{fallhöjd}}$$

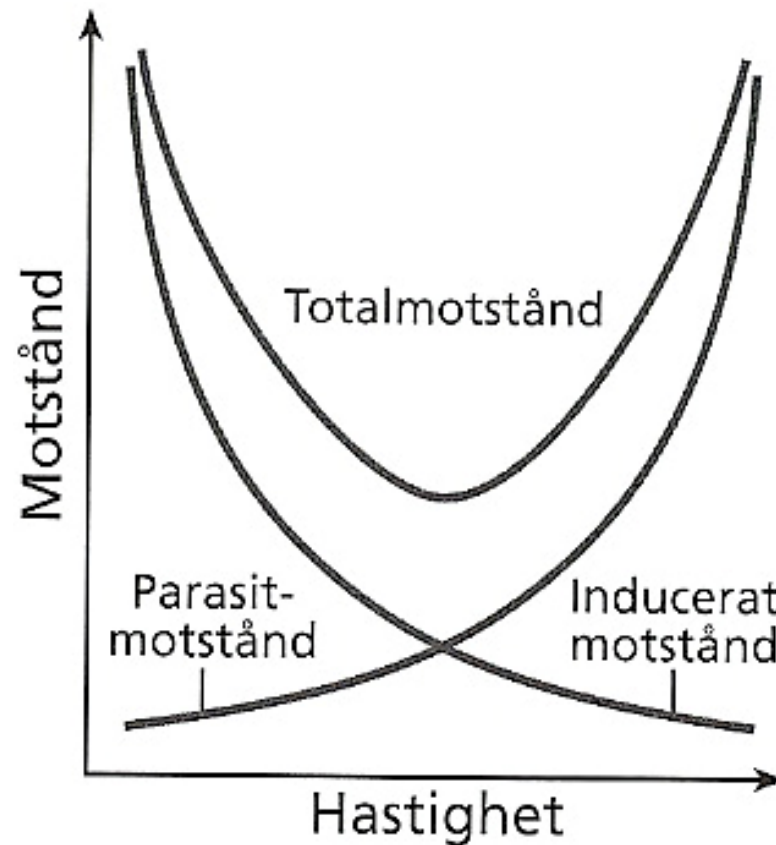
$$\text{Glidtal} = \frac{\text{horisontell fart}}{\text{sjunk}}$$

$$\text{Glidtal} = \frac{\text{Lyft}}{\text{Motstånd}}$$



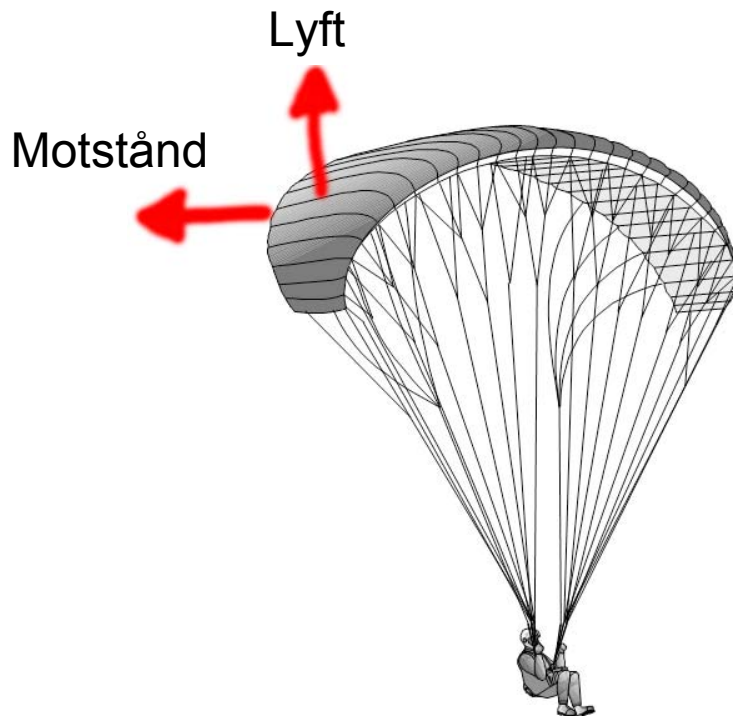
Glidtal

Glidtalet blir bäst då totalmotståndet är som lägst.

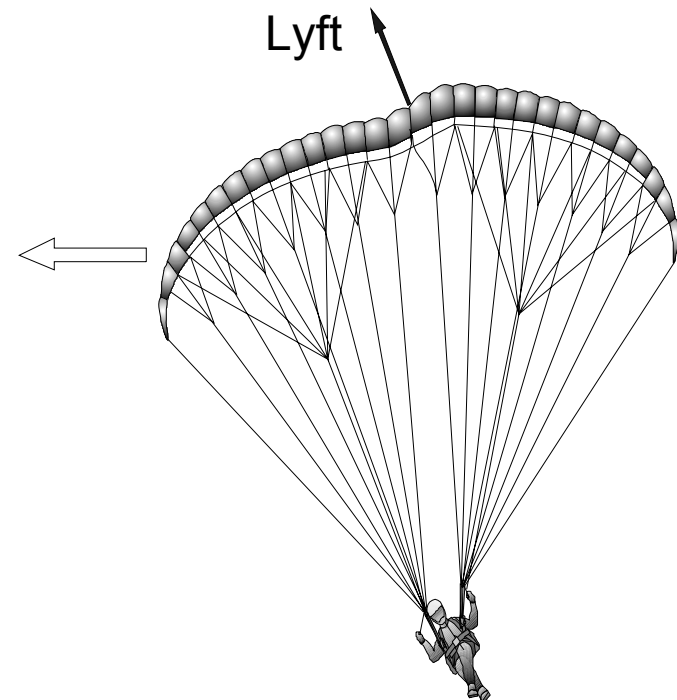


Vad som händer vid sväng

Inträde i högersväng utan viktstyrning:
Motståndskraften driver svängen.
Lyftkraften motverkar svängen.

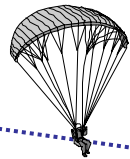


Inträde i högersväng med viktstyrning:
Sned lyftkraft driver skärmen till bankning vilket driver svängen.



Vad som händer med lyftkraften vid olika fart

Den resulterade lyftkraften
uppväger precis tyngden
oavsett vilken fart vi flyger i.



trimfart

Lyftkraften kan
ändras momentant.

Vid långsammare fart så
ökar anfallsvinkeln för att
kompensera så att
lyftkraften bibehålls.



5 dm broms

Vad som händer när man flyger med öron

Skärmens flygande yta minskar.

Motståndet ökar.

Den horisontella farten genom luften är ungefär som i trimfart.

Sjunket ökar.

För att bibehålla lyftkraften måste tryckskillnaden mellan ovansida och undersida öka, detta sker genom att anfallsvinkeln ökar.

Glidtalet minskar.

Stallfarten ökar, speedfarten minskar, dvs polarkurvan trycks ihop.



Hämta presentationen

Gå till www.offground.se

Klicka på **Kurser** och **Teorimaterial**

Ladda hem filen [aerodynamik-spe2008.pdf](#)

The screenshot shows the Offground website interface. At the top, the logo 'OFFGROUND' is displayed against a background image of a person paragliding over a mountain range. Below the logo is a navigation bar with links: Hem | Butik | Tandem | Resor | Kurser | Priser | Kalender | Reportage | Länkar |. The main content area is divided into several sections. On the left, there is contact information for Offground, including the name 'c/o Ori Levin', address 'Folkparksv 178, 12639 Hägersten', phone number '070-826 33 76', and email 'Ori.Levin'. Below this is a PlusGiro account number '20 98 72-1'. The central part of the page features a large heading 'Kurser' and a dropdown menu with the following options: Kursutbud, Student, Vinsch, Berg, Hang, Pilot 1, Termik, Pilot 2, Tandem, and Teorimaterial. The 'Teorimaterial' option is currently selected. To the right of the menu, there is a section titled 'Teorimaterial' with a description: 'Material som Offground använder sig av. Utveckling och uppdateras löpande. Aktuell'. Below this is a table with two columns: 'PDF-fil' and 'Upplaga'. The table contains two rows of data:

PDF-fil	Upplaga
0-teori-innehall.pdf	2008-06-30
1-teori-licenssystem.pdf	2008-06-30

On the right side of the page, there are several promotional banners. The top one is for 'TP-Sport OFFGROUND'. Below it is a banner for 'I SAMARBETE MED UPE' with the website 'www.up-paragliders.com'. At the bottom right, there is a banner for 'THE EDGE' with a 'NEW' tag.

