



Dette dokument skulle gerne give et overblik over forskellige vindmaskiner.

Forståelse for de forskellige vindmøller, man kan støde på i landskabet.

Hvorfor ser man flest 3-bladede **vindmøller**, lodret roterende, - og ikke de vandret-roterende typer.

Hvorfor bliver møllerne større og større ??

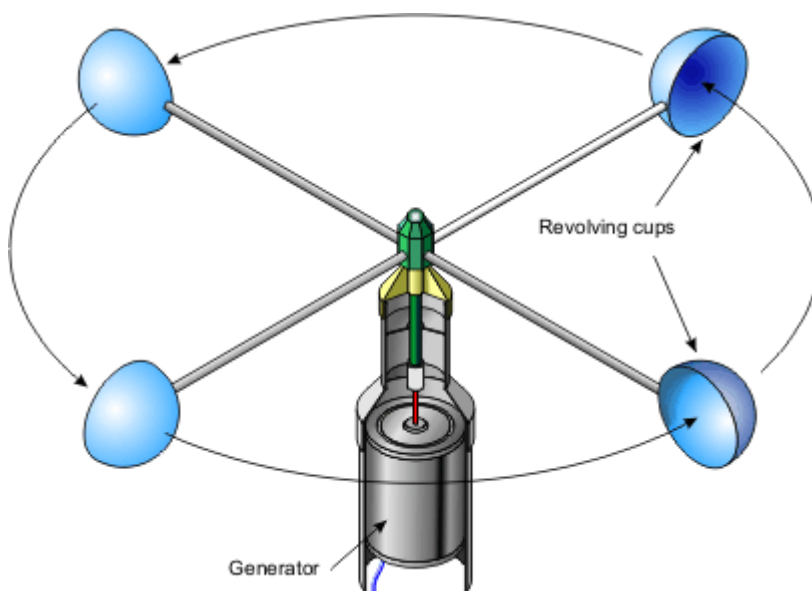
I dokumentet gennemgås først vandret roterende møller som fx ?? og Darrieuz ??, derefter vertikal roterende.

Der er et afsnit om vingeanstal.

Og hvordan virker en vinge. Her tages udgangspunkt i en flyvinge.

Findes fejl og rettelser: plz send mig en mail !!

Anemometer:



Den viste vindmølle bruges typisk til at måle en vindhastighed. Den kaldes for et Anemometer.

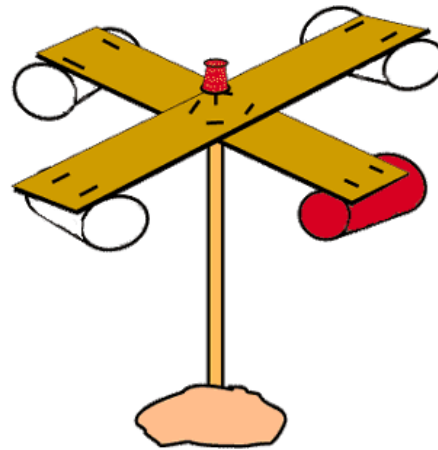
Den bygger på forskellige cd-værdier for forskellige legemer.

Cd, Koefficient drag

På tysk: cw, for koefficient widerstande

??

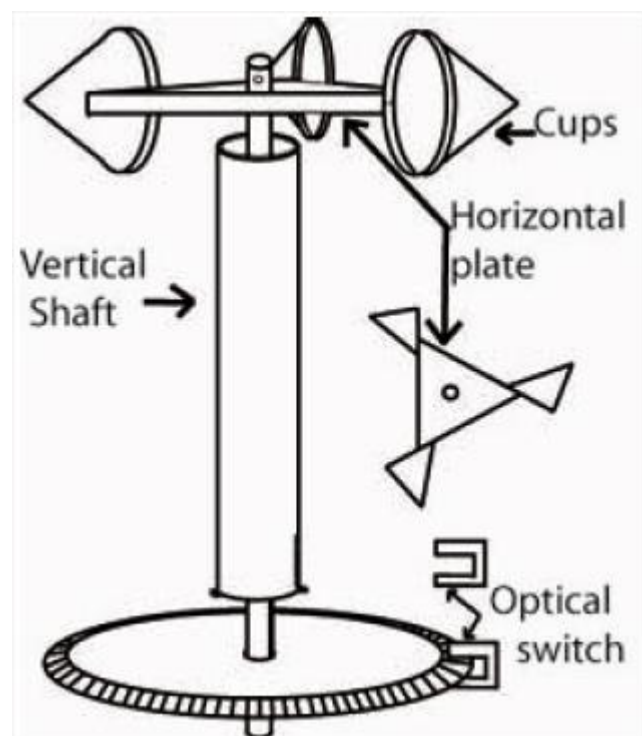
<https://compactanalysis.com/best-types-anemometer-buy-today.html>



https://www.teachengineering.org/activities/view/cub_energy2_lesson07_activity1

Hvordan aftaster man så et anemometers rotation uden at bremse den ??

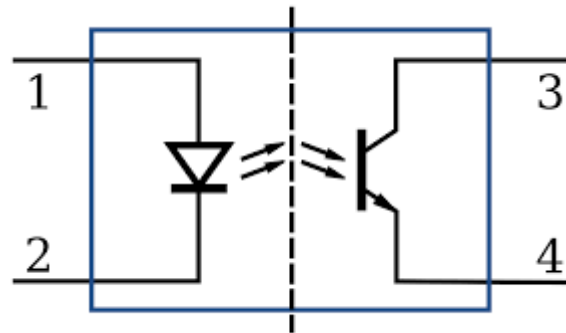
Fx med et hul i akse, eller en rund skive med huller i, der så via lys sender og modtager kan tælle lys-pulser pr tidsenhed.



<https://fromindintoconcept.wordpress.com/page/2/>



Photocoupler:



Vandretdrejende møller: Hvad er det, der får dem til at dreje ??

Shape		Drag Coefficient
Sphere		0.47
Half-sphere		0.42
Cone		0.50
Cube		1.05
Angled Cube		0.80
Long Cylinder		0.82
Short Cylinder		1.15
Streamlined Body		0.04
Streamlined Half-body		0.09

Measured Drag Coefficients

https://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient

Her må vi først se lidt på den kraft, vinden yder på forskellige legemer.

Man har testet en masse forskellige legemer i vindtunnel, og fundet en formfaktor, en vindmodstands-værdi for formen.

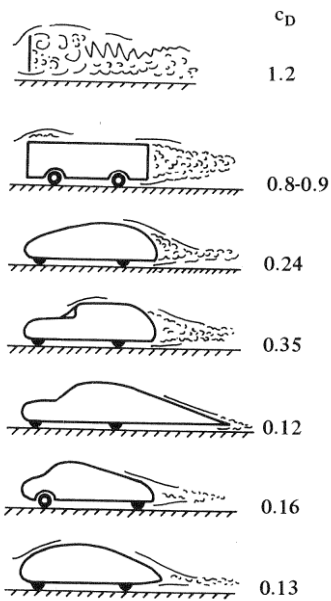
Værdien kaldes en vindmodstandskoefficient – eller på engelsk en ”Drag Coefficient”, med forkortelsen Cd.

Her et skema med forskellige drag-koefficienter.

Se evt. separat dokument om luftmodstand !!

Her er vist Drag koefficient for forskellige bilformer:

Det der er det største problem med biler er turbulenserne bagved bilen.

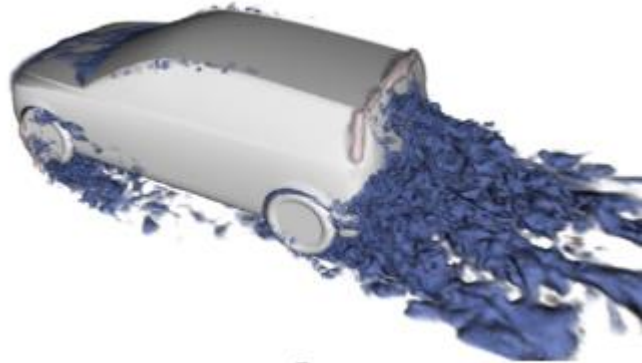


Det mærkes ret tydeligt, hvis man kører ret tæt bag en lastbil.

Her en campingvogn der er forsøgt gjort aerodynamisk:



Tagbagage kendes for at forøge brændstofforbruget betragteligt.



Der fandtes også engang en pose, man kunne spænde foran en campingvogn for at give den en mere dråbeformet front.



Homemade boattail: ☺

Stativ til at spænde foran en campingvogn.




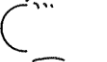
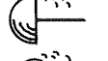
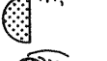




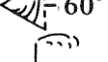









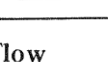
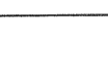




<http://joannenova.com.au/2014/11/how-to-save-billions-of-gallons-of-gasoline/>

Kraften som luften yder på et legeme udregnes blandt andet efter en koefficient og et areal:

Opgave: find formel !!

Shape	c_D	Shape	c_D
	0.47		1.17
	0.38		1.20
	0.42		1.16
	0.59		1.60
	0.80		1.55
	0.50		1.55
	1.17		1.98
	1.17		2.00
	1.42		2.30
	1.38		2.20
	1.05		2.05

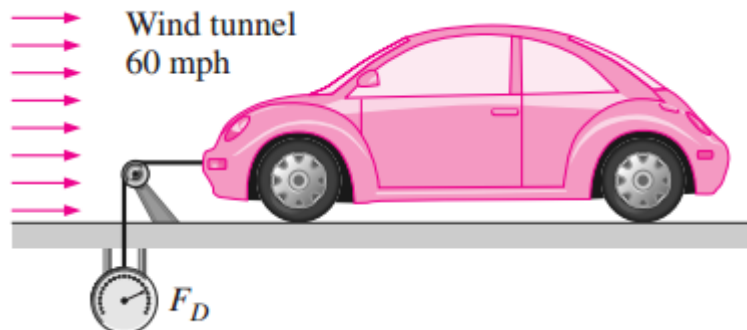
Flow
→

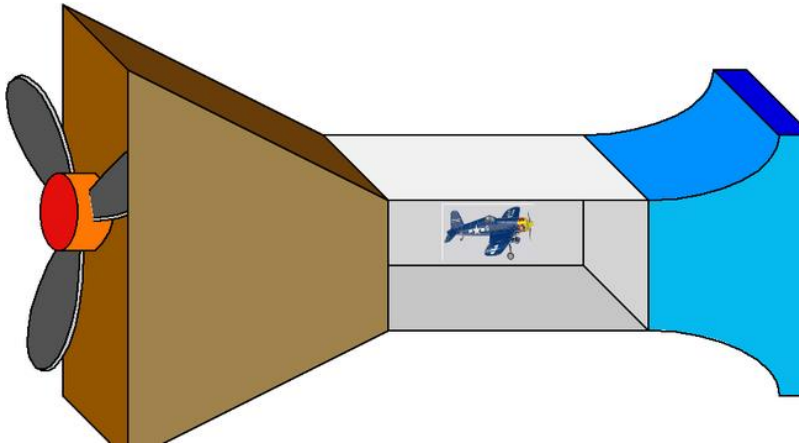
Her igen C_d værdier for forskellige objekter.

Fundet ved at lave måle-forsøg i vindtunnel:

Vindtunnelforsøg med en bil:

Det er nødvendigt, at man har bestræbt sig på et laminariseret vindflow, uden turbulenser.





Vindtunnel:

I den ene ende af systemet sidder en ventilator og suger luften gennem et kammer.

Det er vigtigt, at luftstrømmen i kammeret er laminar. Dvs. strømmer i parallelle baner. Derfor sættes fx en masse rør ind i indsugningen og i udgangen.

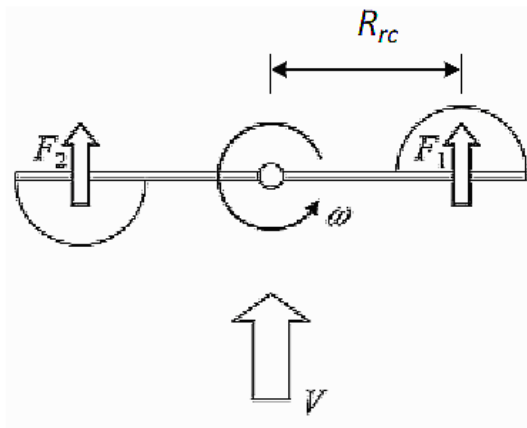
Se sød lille film: bil i vindtunnel: http://www.youtube.com/watch?v=sV_6E1Lh7yo

Forskellige Cd-værdier drejer et Anemometer.

Bemærk, at den kraft, der drejer møllen, er kun afhængig af forskellen mellem cd-værdierne på legemeerne enten set fra "hul-siden" og fra den mere spidse side.

Derfor er det kun vinden på den ene side, der drejer møllen.

På den anden side bremser vinden rotationen !!



Vandret drejende vindmøller:

Vandret drejende: Horisontal-drejende. Windspinners:

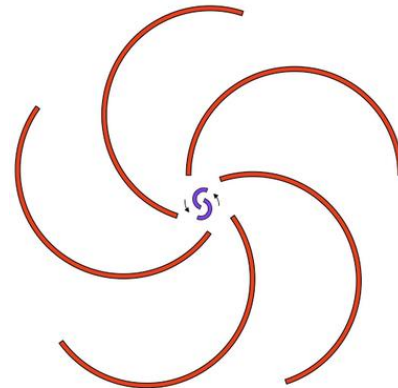
Der findes forskellige typer:



Savonius vindmølle

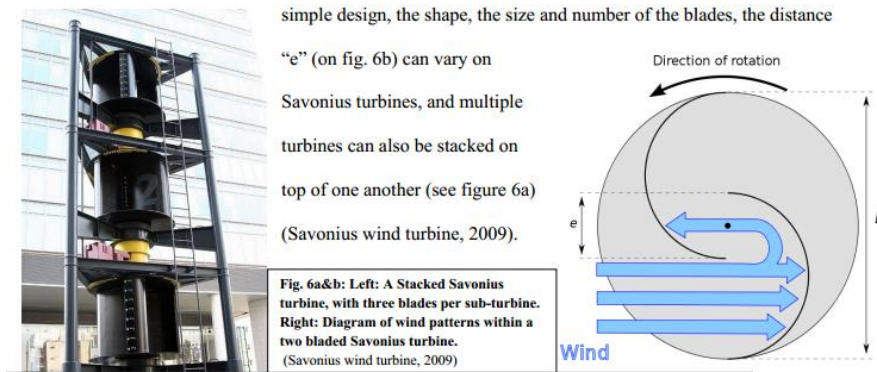
Set ovenfra

Udformet så vinden vil have størst modstand i den ene side

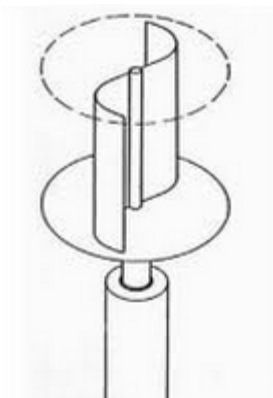


Savonius in a Savonius

Søg på: ” savonius wind spinning” eller Wind spinners

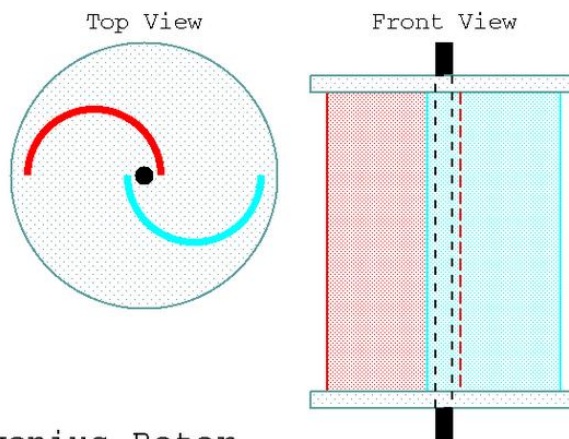


<http://celloexpressions.com/ts/ModelingTheTwistedSavoniusWindTurbineGeometrically-longest.pdf>



Drag-based:

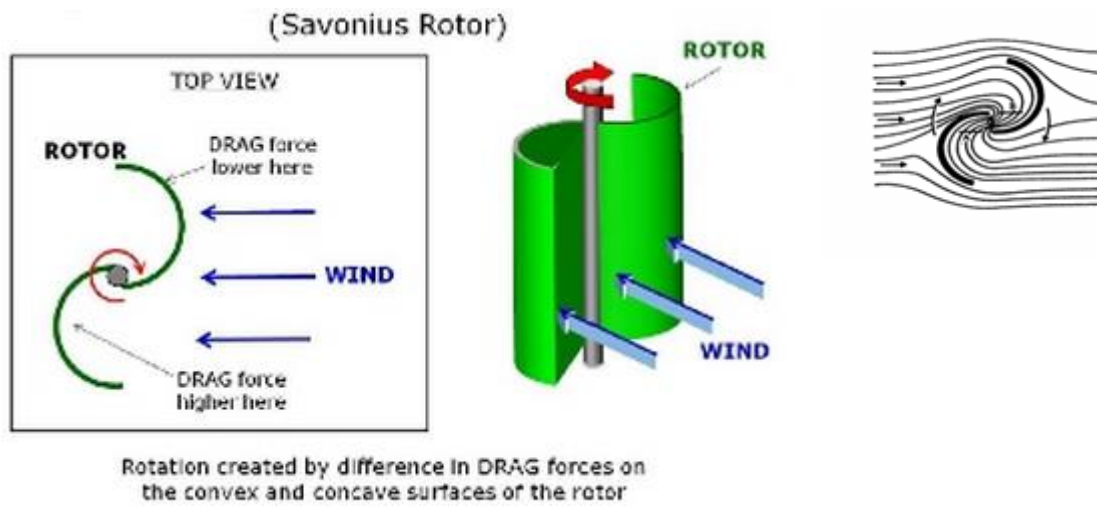
Savonius Rotor



<http://people.bu.edu/dew11/liftanddrag.html>



Der findes et hav af illustrationer af hvordan en Savonius rotor virker.



Se video hvor to Savonius møller drejer. <https://www.youtube.com/watch?v=pBWBQYJVbYU>



Til salg på dba.dk 😊

Til højre: Nyt skilt kan købes !!



<https://www.displaylager.dk/udendoers-dreje-skilt>



Mag wind

Dekorativ, Have-”pynt”, der drejer i vinden.

Fungerer efter samme princip, som Savonius.



Darrieus rotor:

A Darrieus wind turbine can spin at many times the speed of the wind hitting it (i.e. the tip speed ratio (TSR) is greater than 1). Hence a Darrieus wind turbine generates less torque than a Savonius but it rotates much faster.

This makes Darrieus wind turbines much better suited to electricity generation rather than water pumping and similar activities.

The centrifugal forces generated by a Darrieus turbine are very large and act on the turbine blades which therefore have to be very strong - however the forces on the bearings and generator are usually lower than are the case with a Savonius Rotor.



<http://www.reuk.co.uk/Darrieus-Wind-Turbines.htm>



En Darrieus Rotor har problemer med at starte selv.

Derfor kan man se dem snoede !!

http://www.ecosources.info/en/topics/Darrieus_vertical_axis_wind_turbine

Se video hvor der en Darrieus mølle drejer : <https://www.youtube.com/watch?v=hbEiUvyzx2Q>

Måske bedre: <https://www.youtube.com/watch?v=LWEK4qRALS8#t=55.95834>

Gad vide, hvordan en Darrieus mølle reelt virker !!



Vertikal roterende møller

Så går vi videre til at se på de vertikale roterende møller.

Her undersøges forskellige typer, hvorfor de drejer, hvad der sker med den vind, der har drejet en vinge, vingens udseende osv.

Også her findes et hav af udformninger.



Simpel vindgenerator lavet med en cykelhjul og en dynamo.

Og herunder en legetøjs-mølle



<http://da.wikipedia.org/wiki/Fil:Vindm%C3%B8lle.Tun%C3%B8m.jpg>



På landet ser man ofte små vindmøller stå og pumpe vand op til dyrene. Fx denne:



Fra deres hjemmeside:

"Mere end 40.000 Sparco vinddrevne vindmølle vandpumper er der leveret rundt i det ganske land"

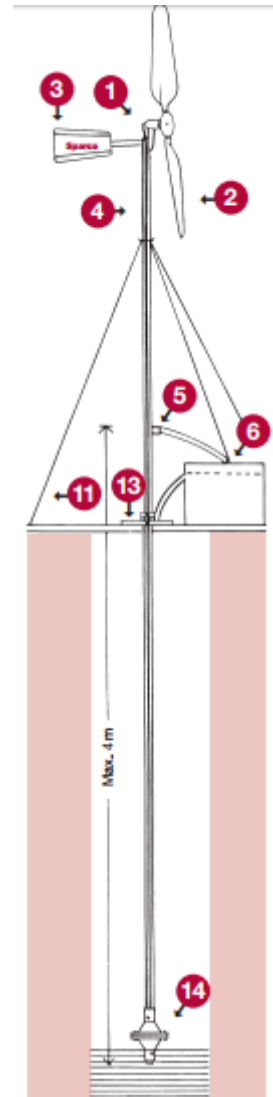
<http://www.liskenn.dk/sider/Brochure.pdf>

<http://www.sparcopumpen.dk/>

Se vind-vand-mølle i funktion: https://www.youtube.com/watch?v=6tFUvjVF1_0

Video: 11:27, der først viser vandret-drejende, så lodret-drejende. Og viser lidt om opstilling af en mølle. <https://www.youtube.com/watch?v=eGicKC9WahE>

Møller har gennem tiderne haft forskellige udseender.





Dybbøl Mølle

En vindrose



Der findes mange udgaver af vindmøller, men de fleste, der ses i dag er med 3 vinger.
Hvorfor mon ??

Hvorfor ser en vindmølle ikke ud som disse ??



Er det en fordel, at der monteres 3 vinger. Vinger er jo dyre, og hvorfor egentlig bruger man så ikke flere end tre ??

Hvorfor er der 3 vinger på ”normale” vindmøller ??



Der er monteret en vægklods i stedet for den ene vinge til at holde balance.



The only real advantage with a turbine with two blades is the reduced cost and weight of a third blade.

However, since a two blade wind turbine can't capture as much energy from the wind as a three blade turbine can, it has to be designed to operate at higher RPMs to produce the same amount of power. When it comes to small wind, this can hardly be seen as an advantage!

*They also suffer from a dynamic imbalance. For instance, when the top blade is in the wind the bottom blade **is being shaded by the tower**. This causes problems with yawing and puts unnecessary wear on the bearings. This makes them particularly unsuitable for high wind areas.*

Three blades successfully eliminate these problems. In the end three blades rule the day.

However, a turbine with two blades may be suitable for you but that depends on a few more factors.

Kilde: <http://www.power-talk.net/two-blade-turbine.html>

Og jo højere man kommer op, jo mere blæser det !!

Af [Mie Stage](#) 29. jan 2016 Spørgekassen, Ingeniøren: [Link](#):

Vores læser **Thomas Lauridsen** har spurgt: Hvorfor har moderne vindmøller netop tre vinger?

Anders Smærup Olsen, seniorudviklingsingeniør på DTU Vindenergi, svarer:

Det korte og nok ikke så overraskende svar er, at en mølle med tre vinger er det optimale design i forhold til at få det maksimale elektricitetsudbytte over møllens levetid i forhold til de investerede midler (materialer, produktion, montering og vedligehold).

Men hvorfor er det så tilfældet, at netop tre vinger har vist sig at være det bedste design?

Vi kan jo starte med at se på aerodynamikken. Vingerne på en moderne vindmølle **omdanner vindens kinetiske energi til rotationsenergi**, der gennem generatoren omdannes til elektricitet. Idet energi udtrækkes af den indkomne vind, vil vindhastigheden falde for den del af vinden, der strømmer gennem rotoren.

Det kan vises teoretisk, at den største effekt kan udvindes (ca. 60% af den totale effekt i den indkomne vind), hvis vindhastigheden i rotorplanet mindskes til to tredjedele af den oprindelige hastighed.

Betingelserne for at opnå denne teoretiske øvre grænse er, at møllen har et uendeligt antal vinger med en uendelig lille korde (bredde), at der ikke er nogen luftmodstand (drag) på vingerne, samt at rotationshastigheden på rotoren er meget høj (gående mod uendelig).



I praksis kan det naturligtvis ikke lade sig gøre, at en mølle vil have et uendeligt antal blade, og den udvundne mekaniske effekt vil være mindre end de optimale 60% på grund af det såkaldte tip-tab samt det faktum, at der i virkelighedens verden altid er luftmodstand.

Tiptabet er den del af effekttabet, der hidrører fra det endelige antal blade, der ikke roterer uendeligt hurtigt. Tiptabet øges (dvs. effektiviteten falder) jo færre vinger, møllen har, og desto langsommere rotoren roterer.

Tabet skyldes, at luftmodstanden stiger med rotorens rotationshastighed, så hvis der kun skulle kigges på effektiviteten, skulle møllen have så mange vinger som muligt. Med de tip-hastigheder, møllerne kører med i dag (op til 80m/s), er der dog ikke det store at hente ved at bruge flere blade, og effektiviteten er stort set den samme, om man bruger to, tre eller flere blade.

Det omvendte gør sig gældende, når der kigges på **produktionsomkostningerne** for møllen, hvor hver ekstra vinge generelt øger udgifterne. Så for at holde produktionsudgifterne nede skal møllen have så få vinger som muligt.

Endelig er det også nødvendigt at kigge på de **belastninger**, vingerne overfører til møllens andre komponenter (rotoraksel, generator, tårn, osv.). Da vindhastigheden generelt stiger med afstanden fra jordoverfladen, vil belastningerne på vingen variere under rotationen. Belastningerne er størst, når vingen er i top-positionen, hvor vindhastigheden er højest. Har møllen tre eller flere vinger, vil disse asymmetrier blive smurt ud, og udmattelseslasterne bliver mindre, og konstruktionen kan laves billigere.

Baseret på disse overvejelser vil bedste valg være at montere tre vinger på de store moderne møller.

Visuelt kan vi desuden være glade for, at de fleste møller har tre vinger, da de giver et meget roligere indtryk, når man kigger på dem mod horisonten. En mølle med to vinger vil få horisonten til at 'blinke', hvilket kan være meget generende at se på.

For mindre husstandsmøller kan det være en bedre idé at acceptere den lavere effektivitet fra to vinger, da det opvejes af den lavere produktionspris. For yderligere at reducere produktionsprisen vil disse også ofte være bagløbere, dvs. vinden møder møllehuset og -tårnet, før den møder vingerne. Dermed vil møllen selv indstille sig efter vindretningen, og den aktive krøjemekanismen kan spares væk.

For de store møller vil man undgå denne løsning, da zonen med lav vindhastighed (læ) efter tårnet giver for store varierende aerodynamiske belastninger på vingerne.

Møllerne med de mange vinger - typen, der kendes fra westernfilm - bruges typisk til at drive en vandpumpe og har altså en anden funktion end elproduktion. For at drive vandpumpen kræves et højt moment ved lave vindhastigheder, og det er netop, hvad de mange vinger leverer. Ulempen ved denne mølletype er, at effektiviteten typisk er lille, ca. 30%, primært pga. friktionen på de mange blade.

Se side med animerede vindmøller:

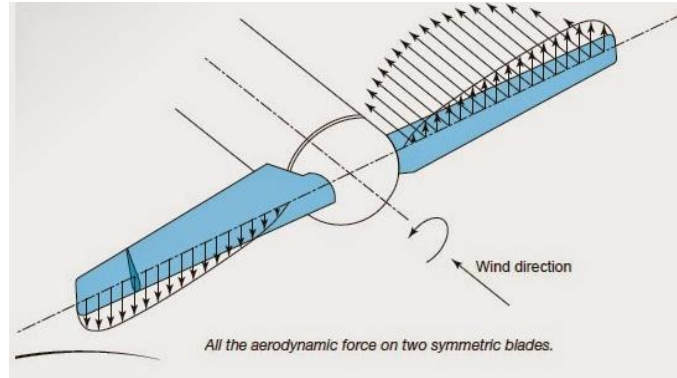
<http://xn--drmstre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/en/tour/design/concepts.htm>



En af fordelene ved lodret drejende vinger er, at alle vinger medvirker til drejebewægelsen.

Der er ikke nogen part, der modvirker drejebewægelsen, som ved vandret drejende.

Alle vinger – eller blade medvirker til funktionen.



http://powerturbines.blogspot.dk/2015_04_01_archive.html

Der findes mange mølletyper: Oversigter:

Se en God side, der kort viser typerne, også vandret drejende:

http://www.teachergeek.org/wind_turbine_types.pdf

Ogen enkelt side: <http://people.bu.edu/dew11/turbinetypes.html>

Wiki har selvfølgelig også en oversigt: https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine

Vindmølle crash: https://www.youtube.com/watch?v=VmvuGpYd_9g

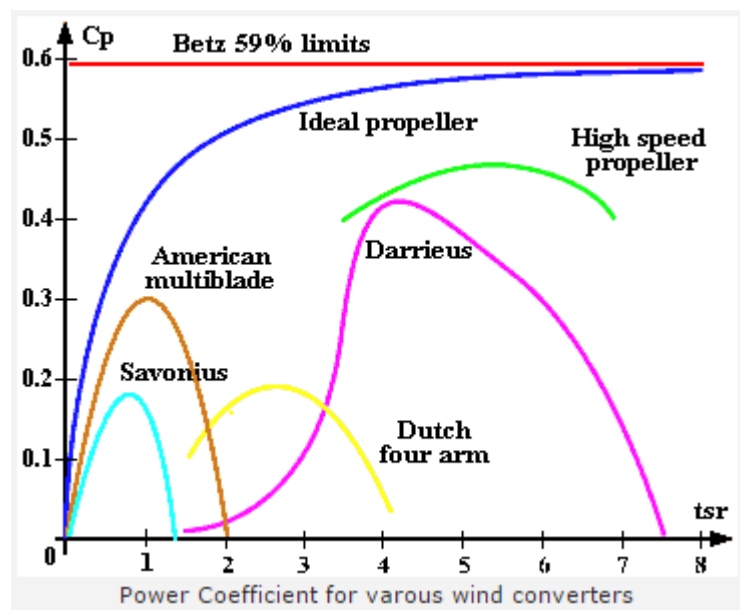
Effektivitet:

En oversigt over energien nogle typer vindmøller kan høste:

Hvad er max ??

Hvorfor er der energi i vinden ??

Hvor meget.

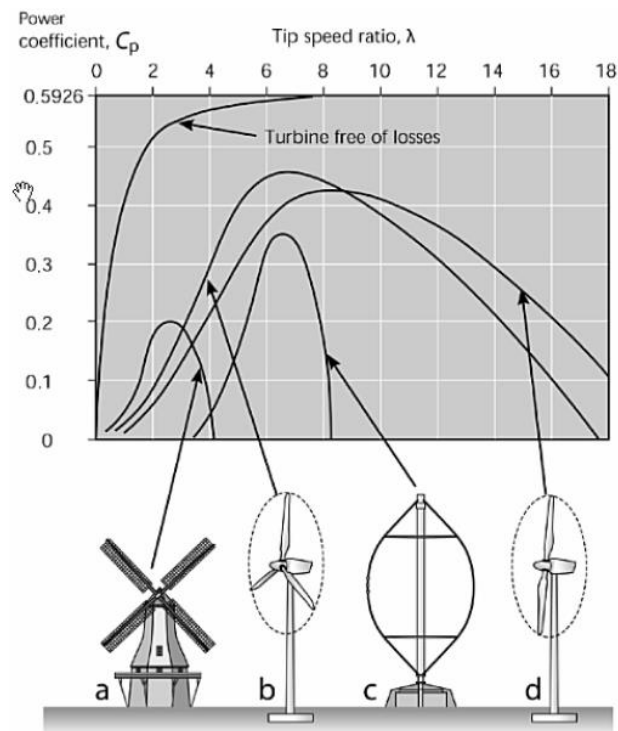




Kilde: <https://urjart.wordpress.com/tag/darrieus-rotor/>

En anden oversigt over energien nogle typer kan høste

Hvad viser graferne ??

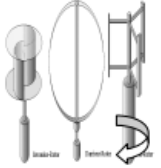
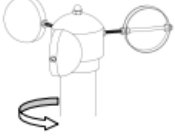






Og her endnu en oversigt, der fortæller om typerne, og med forskellige oplysninger. Fx om typerne arbejder med Drag eller Lift !!



Hvad er så
Drag og Lift

There are two important aerodynamic forces: drag and lift. Drag applies a force on the body in the direction of the relative flow, while lift applies a force perpendicular to the relative flow.

Ref No.	Design	Orientation	Use	Propulsion	* Peak Efficiency	Diagram								
1	Savonius rotor	VAWT	Historic Persian windmill to modern day ventilation	Drag	16%									
2	Cup	VAWT	Modern day cup anemometer	Drag	8%									
3	American farm windmill	HAWT	18th century to present day, farm use for Pumping water, grinding wheat, generating electricity	Lift	31%									
4	Dutch Windmill	HAWT	16th Century, used for grinding wheat.	Lift	27%									
5	Darrieus Rotor (egg beater)	VAWT	20th century, electricity generation	Lift	40%									
6	Modern Wind Turbine	HAWT	20th century, electricity generation	Lift	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Blade Qty</th> <th>efficiency</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>43%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>47%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>50%</td> </tr> </tbody> </table>	Blade Qty	efficiency	1	43%	2	47%	3	50%	
Blade Qty	efficiency													
1	43%													
2	47%													
3	50%													

Do fra: <http://www.mdpi.com/1996-1073/5/9/3425/pdf>

Lift eller drag ?? Der er 2 kræfter på spil, som i et fly. Drag som i vindmodstanden – i anemometeret.

På ovenstående er der også angivet en liste over antal blade og deres møllens effektivitet som funktion af antal vinger.

Blade Qty	efficiency
1	43%
2	47%
3	50%



Hvordan drejer en vindmølle så ??



Hvordan drejer en vindmølle så, og hvorfor. Hvad er mekanismen ??
Hvad er det, der sker med den luft, der kommer hen imod en vindmølle ??

Den eneste måde at høste energi fra vind i bevægelse er, at man ændrer dens hastighed. Enten direkte – altså i bevægelsesretningen – eller ved at afbøje vinden.

Vi ved, at kraft er lig masse gange acceleration.

Luften har masse, og ved at ændre dens hastighed, opnås en kraft.

Eksempler:

Acceleration er ændring i hastighed eller retning. Derfor er det en fordel at togskiner hælder indad i en kurve.

Man kan svinge en spand vand over hovedet.

Man kan køre på motorcykel i en dødsdrom.

Se:

https://www.youtube.com/watch?v=DoU_NFoe1IQ



Man oplever en kraft udad i en karrusel.

Planeternes bane.

Når man tilfører en bil en kraft accelererer den.

Et lod hænger ned fra en bils loft !!



Hvorfor kan man rive et blad af uden at rullen ruller med ??

Drop en mobiltelefon på en pude, eller et badeværelsesgulv. Hvad er forskellen ??

Træk en dug ud under et askebæger !!

Slæbe en bil i et tov

Microbil tørner sammen med Mercedes

Projektil

Deformationszone i tog og bil.

MR-tog er lavet i stålkonstruktion, hvor IC3-tog er lavet i aluminiumskonstruktion. Begge togtyper har deformationszoner indbygget, hvor kraften fra en kollision optages. Disse deformationszoner findes primært i indgangspartierne/vestibulerne. Lokoførerkabine og passagerkabiner er udført i mere stiv konstruktion. (Kilde: https://brs.dk/viden/publikationer/Documents/Toguheld_indsats_US.pdf)

Deformationszone i bil.

Den kinetiske energi i bilen er brugt til at krølle metaldele sammen.

Og det tager tid. Kabinen bremses "langsomt" ned.





$\Delta v/\Delta t$

Regne på en mobiltelefon, der droppes på en pude / badeværelsesgulv:

Telefonen droppes fra 1 meters højde.

Hvad er dens hastighed i m/s og km/h når den når underlaget ??

(omregn fra potentiel energi til kinetisk energi)

Regn med: Telefonen vejer 145 g. Puden bremser telefonen ned på 0,2 sekund, og et hårdt gulv bremser den ned på 2ms.

Hvor mange g oplever telefonen ?? (1 g = 9,82 m/s*s)

(acceleration = $\Delta v/\Delta t$)

Hvilken kraftpåvirkning oplever telefonen i de to tilfælde ??

(F = masse * Acc.)

Se eksempler: 1:04 <https://www.youtube.com/watch?v=QH2TgwGIFQ0>



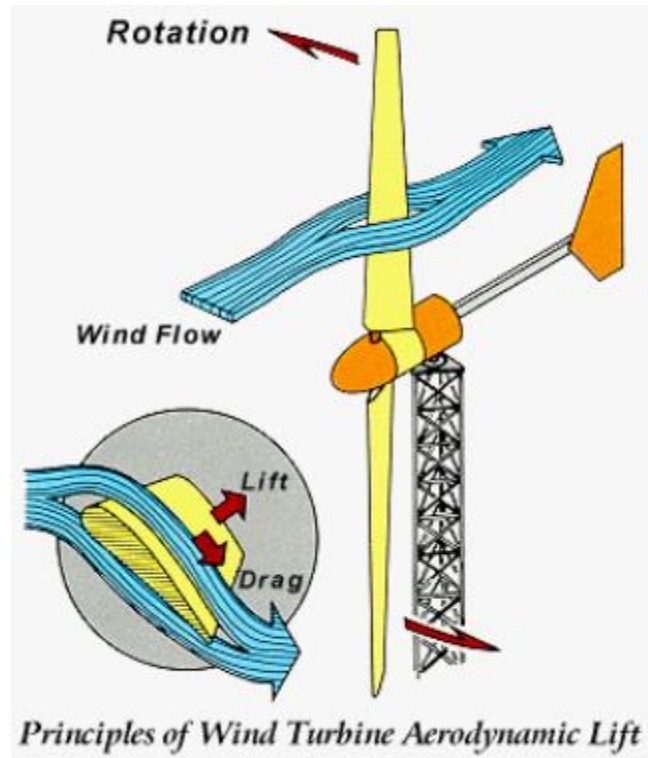
Altså: En acceleration er en ændring af hastigheden, enten direkte imod, som en bil der accelererer, - eller decelererer, - negativ acceleration.

Eller hvis man ændrer retningen.

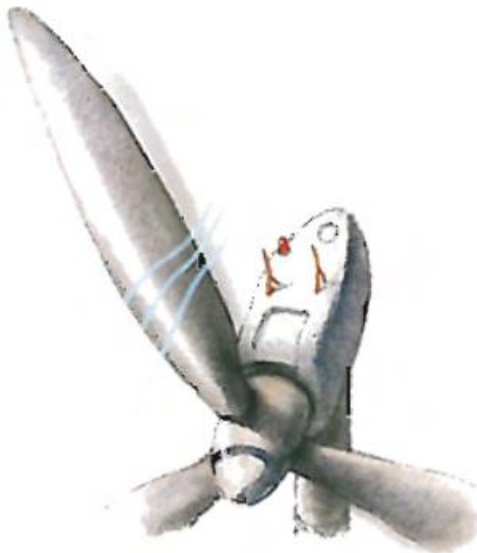
Men hvis en vindmølle stopper vinden helt, hvordan skal der så komme nyt vind frem.

Det det ser vi på senere !!

En vindmølle kan altså få kraft ved at bremse luften og dreje vindens retning.



<http://www.amstat.org/education/posterprojects/pdfs/2010/2010grade7-9secondplaceproject.pdf>



Flere illustrationer der viser, at vinden rammer møllevingen og bliver afbøjet til den ene side, mens vingen bliver skubbet til den modsatte side.

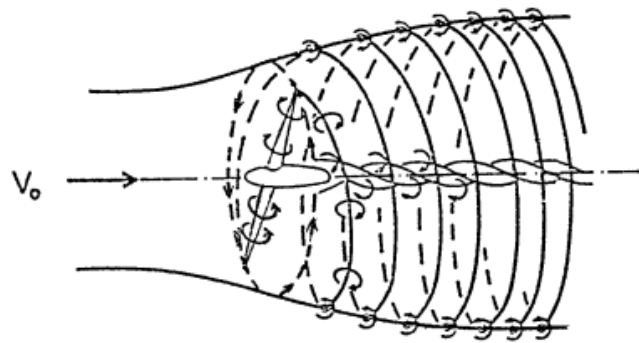
”Lift Based”

<http://fc.vucnordjylland.dk/Flexundervisning/FOV1-000D35E9/FOV1-000948AA/Modul%202/Energiens%20veje.pdf>



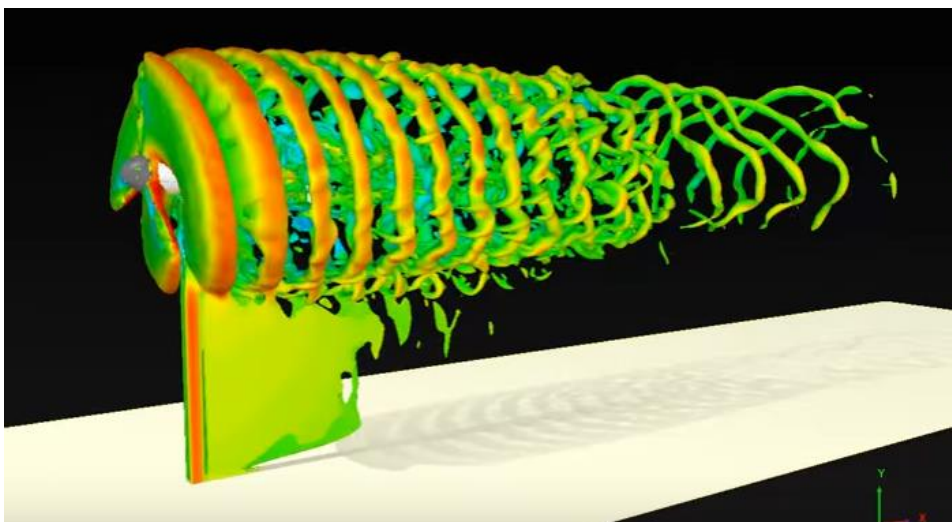
Når vinden påvirkes af en vinge, må det må jo betyde, at der sker noget bag en vindmølle:

Illustrationen er fra en rapport fra DTU.



http://orbit.dtu.dk/ws/files/53702664/ris_m_2153.pdf

Der findes et hav af billeder, der viser turbulenserne bag en vindmølle.



Se en Animation af turbulenserne bag en vindmølle.

https://www.youtube.com/watch?v=nj_iL8PXOD8

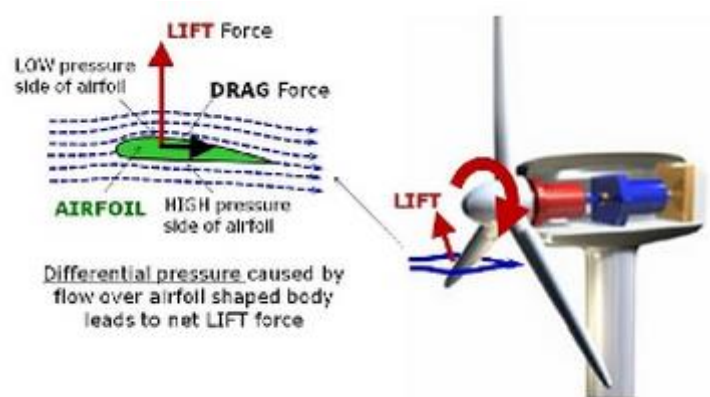
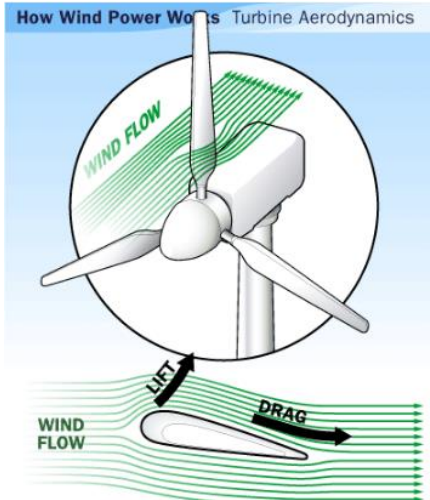
Og se: https://www.youtube.com/watch?v=t5Ioi_4bdL0

YouTube der forklarer om forskellige typer: 17:42,
https://www.youtube.com/watch?v=qx_M0nvDIGU
Flyttes til senere??



Vindmøllevinger virker på samme måde som vinger på et fly !!

En møllevinge drejer luftstrømmen. En flyvinge gør det samme, - men her er det bare flyet der bevæger sig fremad, og luften, der står stille. Resultatet bliver det samme.



Fra dokument: Energiens veje: VUC Nordjylland:

Turbine blades are shaped a lot like airplane wings -- they use an **airfoil** design. In an airfoil, one surface of the blade is somewhat rounded, while the other is relatively flat.

<http://people.bu.edu/dew11/liftanddrag.html>

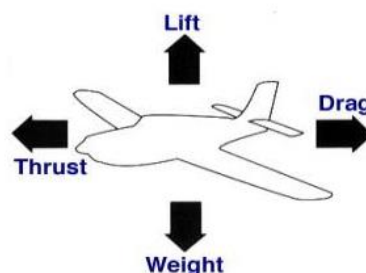
<http://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/wind-power3.htm>

Teorien om flyvinger

En flyvinge skal skabe opdrift for at flyet kan flyve ligeud. Men hvordan den gør det, er der desværre to forklaringer på. Der er mange, der endnu tilskriver Bernoulli æren, mens jeg håber, Newton efterhånden overtager ansvaret.

Betingelsen for at et fly kan flyve ligeud i luften må være, at der skabes en opdrift som er lig tyngdekraften.

Men hvordan opdrift skabes er der stadig stor uenighed om.



Fælles for teorierne er, at det eneste man har oppe i luften, er luft at arbejde med. Man er nødt til at flytte noget luft nedad, for at få en kraft opad. Luften skal accelereres, for at yde en kraft. Luftens hastighed skal ændres, - fra nul til en hastighed. **Luften skal accelereres.**



Den luft, der rammer vingens underside tvinges ned, - mens oversidens "læ" skaber undertryk, som nok suger noget luft ned oppefra. Dette giver et lille bidrag til opdriften.



<http://www.csn.ul.ie/~thekooman/fyp/chapter1.htm>

" The air flowing over the top of the wing adheres to the shape of the airfoil. This eliminates a tremendous amount of drag, and it also creates more lift. As the air leaves the end of the top part of the wing, it has a downward direction. This provides another source of upward lift-by-reaction."

<http://www.csn.ul.ie/~thekooman/fyp/chapter1.htm>

Opgave: Hvad er forskellen i princippet i Bernoullis princip. Og i Newtons princip. ??

Downwash - nedadgående luftstrøm.

Her er vist et par billeder, der viser Downwash.

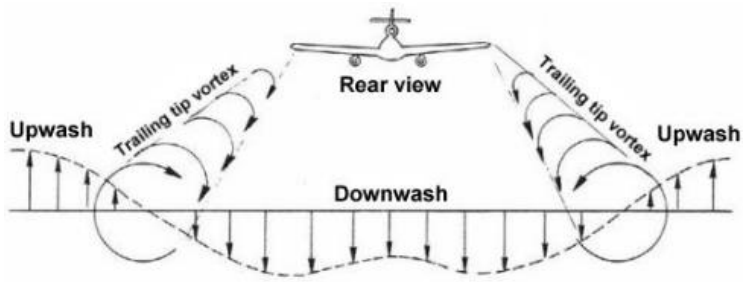


Downwash and wing vortices in the fog.

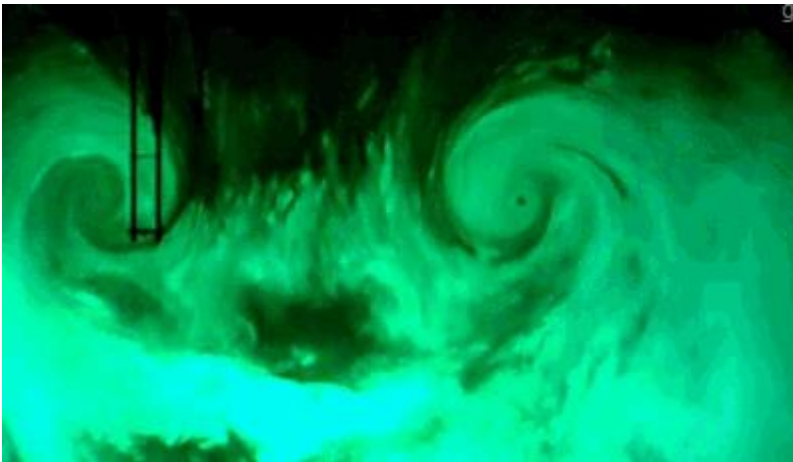
Se billede fra: [Kilde](#)

A huge hole is punched through the fog by the downwash from the airplane that has just flown over it.

http://roman-hartmann.de/html/newton_s_laws_and_lift_rev.html

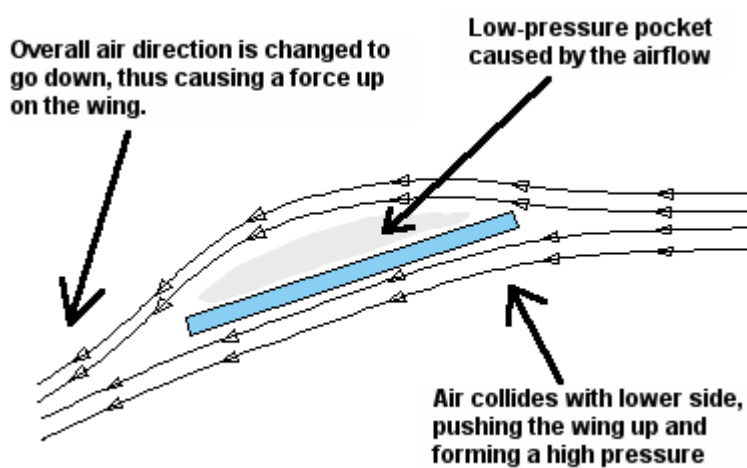


<http://www.aerospaceweb.org/question/conspiracy/q0274.shtml>



[Se animation her:](#)

Her et par flere illustrationer:



<http://warp.povusers.org/grrr/airfoilmyth.html>

<http://www.csn.ul.ie/~thekooman/fyp/chapter1.htm>



Når vingen bevæges fremad, vil oversiden af pladen ligge i ”Læ”, og det vil give et lavere tryk, som også vil ”suge” noget luft nedad. Og det medvirker jo også til op-kraft på pladen !!

Aktion og reaktion

Beregning af lift fra en træplade:



<http://ing.dk/artikel/bernoulli-kunne-slet-ikke-flyve-46818>

Det følgende er en beregning af, hvor meget lift, der kommer af en fly-vinge, der i dette tilfælde blot er en plade af krydsfiner. Her ses kun på undersidens virkning!

Her regnes med, at pladen er 10 meter lang, og 1 meter bred.

For at vingen kan løfte noget, skal den presse luft nedad, for at give opdrift. Derfor er vingen lidt skråtstillet opad, frem imod luften. Sådaldt Angle of Attack.

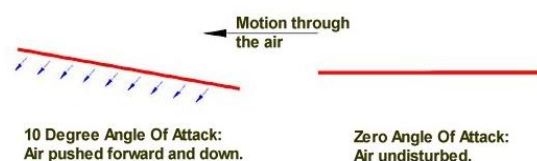


<http://jedismedicine.blogspot.dk/2013/11/flying-angle-of-attack-aviation.html>

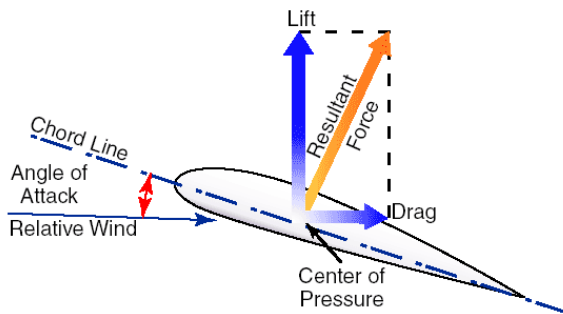
Som hvis man rækker en hånd ud af vinduet.

Holdes hånden lidt på skrå mærkes kræfterne fra luften.

Forenden er hævet 10 cm i forhold til bagenden. Den vinkel, den udgør, kaldes ”angle of attack”



Ala ostehøvl. ☺

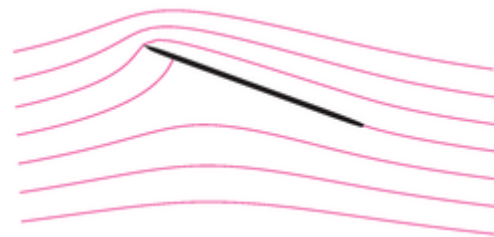


Kilde: <http://www.avweb.com/news/airman/183261-1.html>

Flyets, og vingens hastighed er 160 km/h svarende til 44 meter/sek.

Først findes ud af, hvor meget luft, der ”høvles” af, og presses nedad.

$$10 \text{ m} * 0,1 \text{ m} * 44 \text{ m/s} = 44 \text{ m}^3 / \text{sekund}$$



Billede fra: <http://www.av8n.com/how/htm/airfoils.html>

Luft vejer ca. 1,22 Kg / m³, så det bliver 1,22 [Kg/m³] * 44 [m³/s] = ca. 53,68 kg / s.

Altså, bliver der flyttet 53,68 kg luft pr. sekund.

Det kræver, at man skubber til luften. Luften skal på kort tid bringes fra 0 m/s til en hastighed. Den skal accelereres. En acceleration er jo en hastighedsændring.

Og iflg. Newton, vil luften – når den flyttes, - yde et modtryk. Et tryk, der er større, jo kortere tid, der går med at flytte massen.

Trykket – eller kraften beregnes efter:

Kraft = Masse * Acceleration.
$$F = m \cdot a \left[N = \text{kg} \cdot \frac{m}{s^2} \right]$$

*An **acceleration** is a change in velocity v with a change in time t .*

$$F = m \cdot \frac{v_1 - v_0}{t_1 - t_0}$$

Altså kraften er: $F = \text{masse gange} \frac{\text{Hastighedsændring}}{\text{tidsændring}} = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t}$



I matematik regner man delta for mindre og mindre, - indtil den til sidst er "uendelig lille". Og symbolet ændres så til et lille d.

Der fås:

$$F = \frac{d(m \cdot v)}{dt} = m \cdot \frac{d(v)}{dt} = m \cdot \frac{v_2 - v_1}{dt} \left[\text{kg} \cdot \frac{\text{m/s}}{\text{s}} \right] = \left[\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

Når luften trykkes nedad, vil den yde en kraft på pladen opad.

Kraften er massen gange acceleration.

Den opadrettede kraft på vingen udregnes af den kraft, der skal til at accelerere 53,68 kg luft nedad.

Vingens hastighed er 44 m/s, så det tager kun 1/44 sekund for vingen at komme 1 meter fremad. Det er 0,023 sekund

Så skiven af luft bevæges nedad med en hastighed af 10 cm. på 0,023 sekund, hvilket giver en hastighed nedad på:

$$\text{Hastighed} = \frac{\text{meter}}{\text{sekund}} = \frac{0,1 \text{ m}}{0,023 \text{ s}} = 4,35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Det tager altså 0,023 sekund at ændre skivens luft fra 0 til 4,35 [m/s].

Det giver en acceleration på $\Delta v / \Delta t$:

$$\text{Acc} = \frac{4,35 - 0 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]}{0,023 \text{ [s]}} = 189 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

Luftens hastighed ændres 189 meter pr sekund pr sekund.

Nu kan kraften opad fra luften beregnes!

Den opadrettede kraft F i Newton: $F = \text{masse} \cdot \text{Acc}$

$$F = 54 \text{ [Kg]} \cdot 189 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] = 10.017 \left[\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] = \text{[N]}$$

Ønskes et udtryk for hvad kraften svarer til i kg, fås, idet $F = m \cdot g$:



$$Kg = \frac{N}{g} = \frac{10.017 [N]}{9,82 \left[\frac{m}{s^2} \right]} = 1020 [Kg]$$

(Der skal bare divideres med 9,82.)

Altså betyder det, at vores lille 10 meter lange plade, 1 meter bred, ved 160 km/h kan løfte mere end 1000 kg.

Og bare fra undersiden.

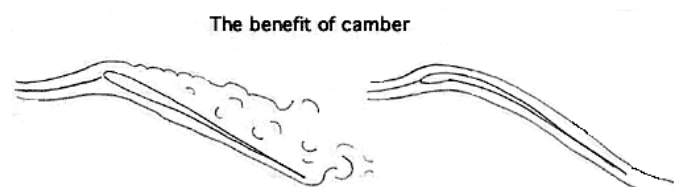
Så, hvorfor er ikke alle flyvinger lavet af plader? Der er flere grunde:

En stor flad stykke plade, der skærer en plade luft af, vil skabe et stort Drag. Altså Bremskraft fra pladens underside, men også fra oversiden, hvor luften ligger i læ. I det trekantede område ovenover (og bag) vingen vil der være lavere tryk, (vakuum) , og det vil suge luften ovenover vingen nedad, - og derved også skabe opdrift. Men tillige skabes turbulenser.

Og derudover vil det være vanskeligt at skabe styrke nok i en flyvinge, der blot består af en plade til at bære et tungt fly.

Kilde: <http://www.mansfieldct.org/Schools/MMS/staff/hand/Flightcalclift.htm>

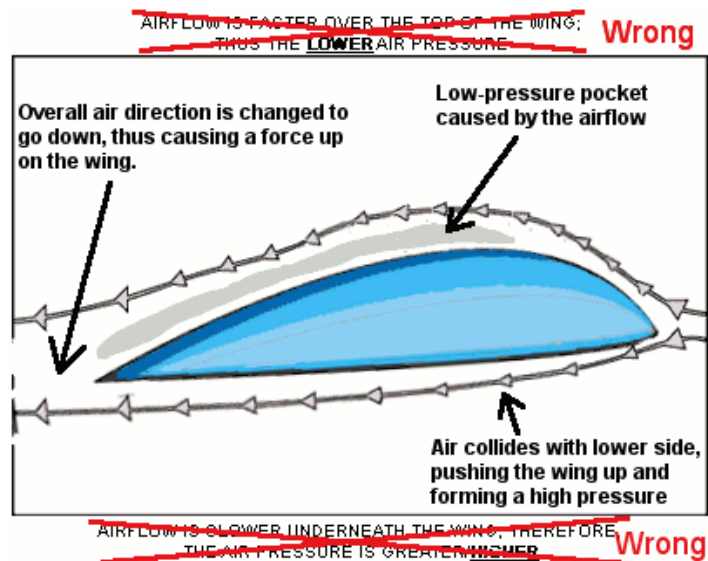
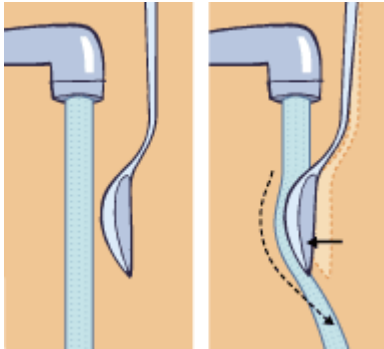
The problem is the sharp leading edge of the sheet. When the angle of attack becomes too great, the flow cannot turn around the sharp corner of the leading edge. If the flow does not smoothly follow the shape of the sheet it stops generating lift. Take the same flat sheet and curl the front of the sheet down so that the leading edge is lined up with the oncoming flow, and the lift will increase to a greater angle of attack.



<http://quest.nasa.gov/aero/planetary/atmospheric/lift1.html>



Den effekt, der ”klistrer” luften til læ-siden på toppen af vingen kaldes Coanda-effekten. Den er vist hermed en vandstråle og en ske:



<http://warp.povusers.org/grrr/airfoilmyth.html>

Eksempel med et fly:

Take a Cessna 172. ... The wings must lift 1045 kg at its maximum flying weight. The path length for the air over the top of the wing is only about 1.5 percent greater than the length under the wing. Using the popular description of lift, the Bernoulli effect, the wing would develop only about 2 percent of the needed lift at 104 km/h, which is 'slow flight' for this airplane."

*In fact, the calculations say that the minimum speed for this wing to develop sufficient lift is over 640 km/h. If one works the problem the other way and asks what the difference in path length would have to be for the popular description to account for the lift in slow flight, the answer would be 50 percent. **The thickness of the wing would be almost the same as the chord length.**"*

"...Though enthusiastically taught, there is clearly something seriously wrong with the popular description of lift."

(David F. Anderson and Scott Eberhard, *Understanding Flight*, McGraw-Hill (2001) page 16
(<http://home.comcast.net/~clipper-108/lift.htm>)

Luftens temperature betyder også noget:

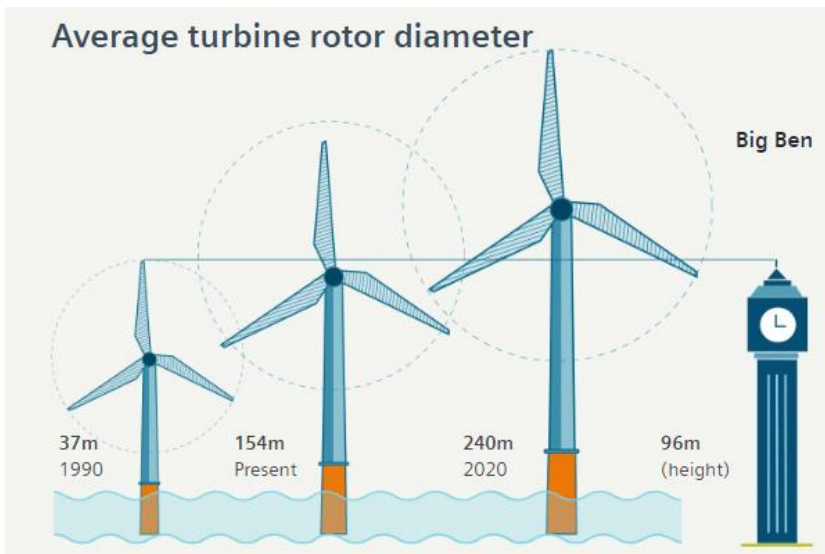
Se: *A warmer world could make current airport runways too short*

<http://www.csmonitor.com/Environment/Bright-Green/2009/0910/a-warmer-world-could-make-current-airport-runways-too-short>

Se: Hot and high. https://en.wikipedia.org/wiki/Hot_and_high

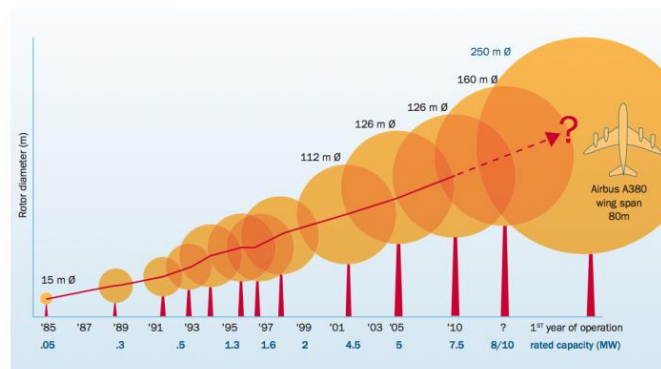


Vindmølle størrelser:



Hvordan er det lige, at større møller kan generere mere energi ??

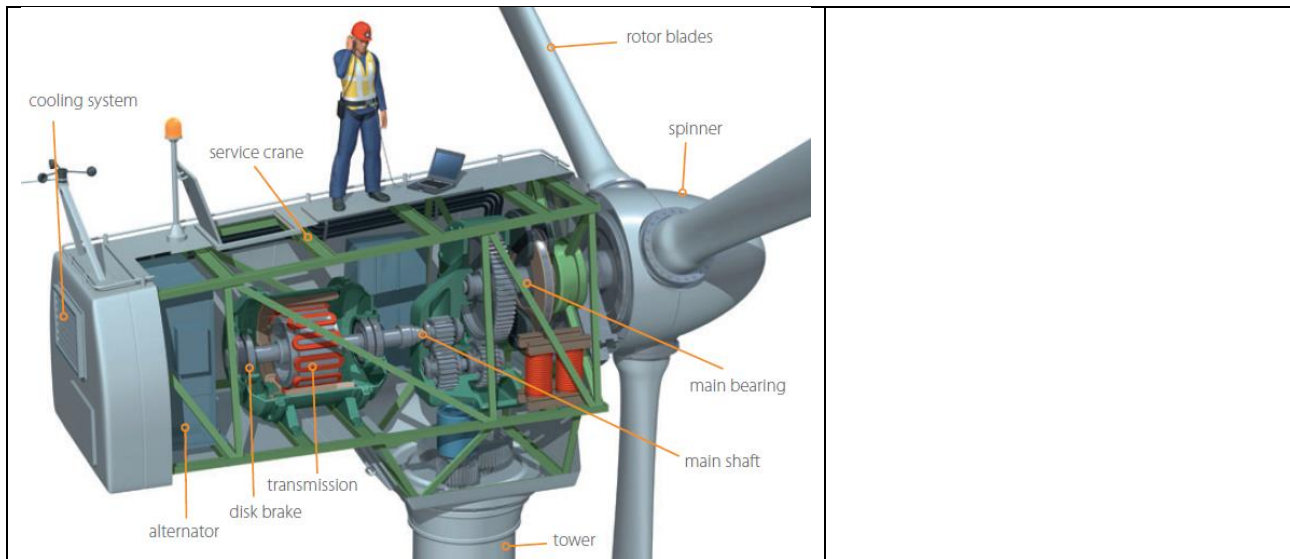
Kilde: <http://www.siemens.com/global/en/home/markets/wind/offshore.html>



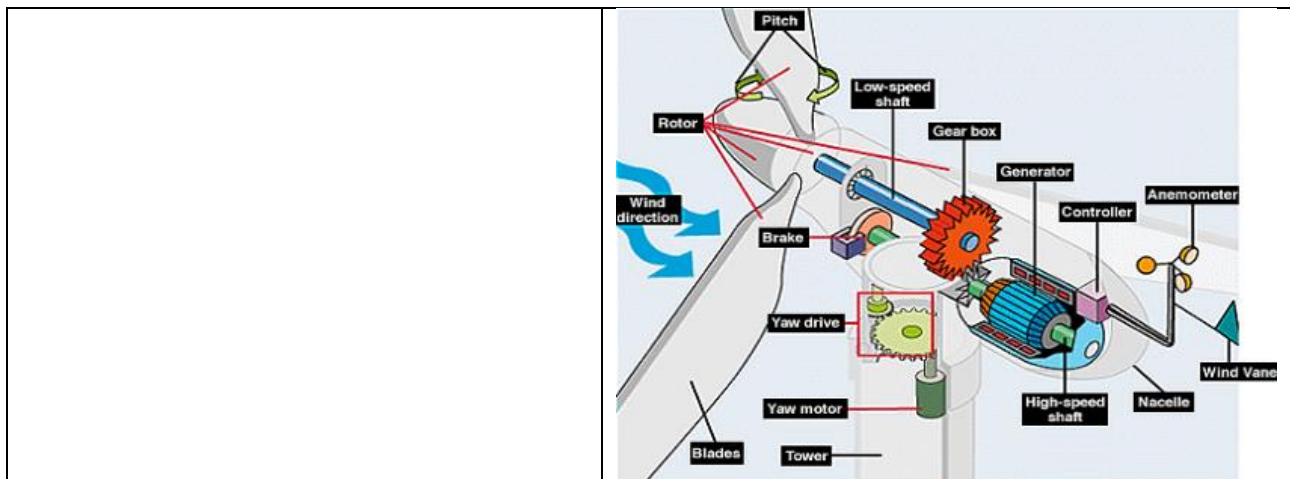
Wind turbine size trend estimate (1980 - 2020)

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:551680/FULLTEXT01.pdf>

Hvordan virker en vindmølle?



http://www.unitedenergy.com/pdf/wind_power.pdf



<http://windturbine.me/windturbines.html>

Ekstra:

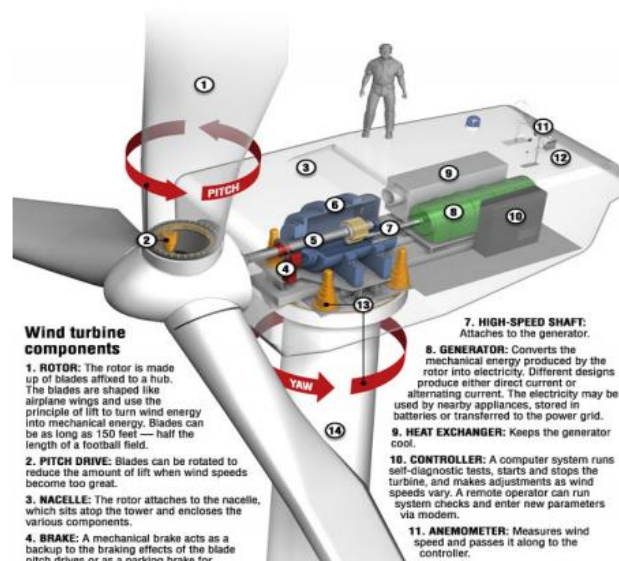
Ikke redigeret:

Blade calculator: <https://www.warlock.com.au/tools/bladecalc.htm>



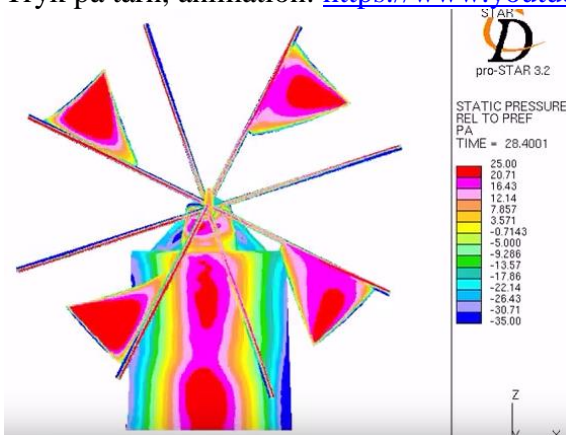
Drejbare vinger:

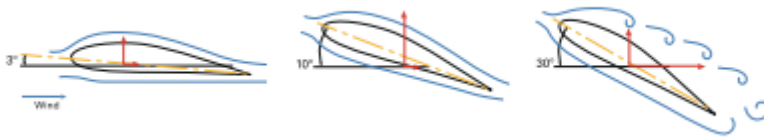
Drejes vingerne med kanten mod vinden, vil møllen stoppe med at rotere.



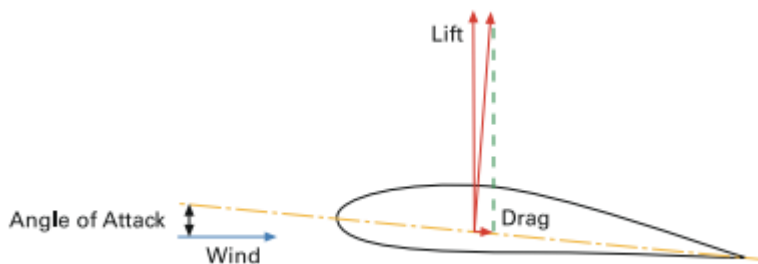
<https://pdfs.semanticscholar.org/02e3/4541848594efcf28fab409b2eef696fe145a.pdf>

Tryk på tårn, animation: <https://www.youtube.com/watch?v=AGfIdK-NN5E>





http://www.gurit.com/files/documents/2_aerodynamics.pdf



http://www.gurit.com/files/documents/2_aerodynamics.pdf

Dokument om Bestrøget areal, 1/3 del / Swept area Hvorfor 1/3 del ???

<http://www.thebackshed.com/windmill/articles/SweptAreaofHAWT.asp>

So what can we conclude from all this. Well, the inner part of a turbine will give us the least amount of power from our turbine. However the inner part of our turbine is the most stressed part, and if you are calving your own timber blades, is the most difficult part to make. So its better to loose a 100mm or so from the inner part of the blade in exchange for a easier to make and stronger turbine. Don't be afraid to move you blades further out from the centre.



Bonus:

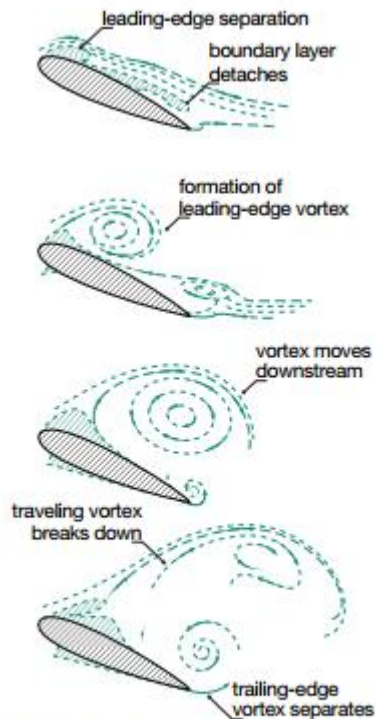
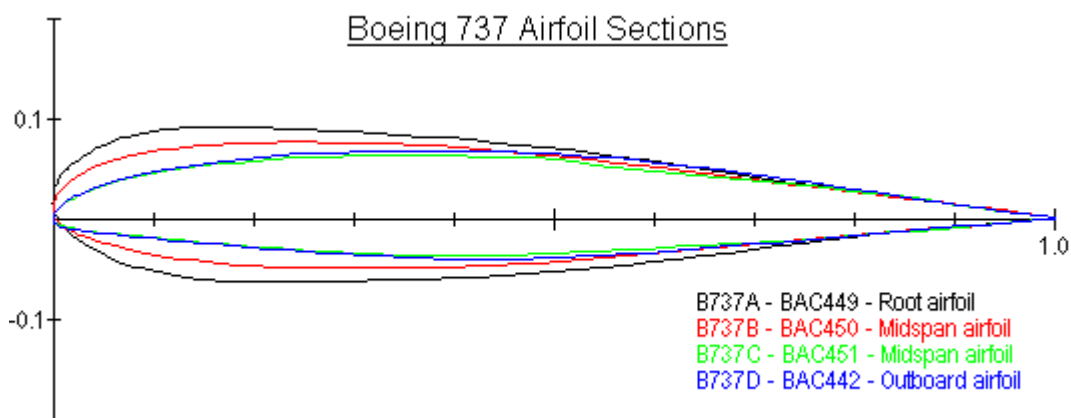


Figure 3.15: Flow over an airfoil during dynamic stall (adapted from Nørkær Sørensen, 1999, cited in Larsen, 2005, p. 58).

http://www.lr.tudelft.nl/fileadmin/Faculteit/LR/Organisatie/Afdelingen_en_Leerstoelen/Afdeling_A_EWE/Wind_Energy/Education/Masters_Projects/Finished_Master_projects/doc/Rene_Bos_r2.pdf



<http://airfoiltools.com/search/list?page=b>