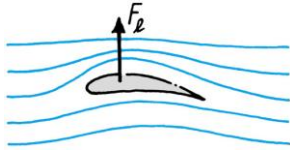


**Vectoren in de techniek**

*Vliegtuigen*

In de luchtvaarttechniek worden vectoren uitgebreid toegepast. Door de vleugel van een vliegtuig – of het blad van een helikopter – iets te laten hellen, ontstaat een ‘lift’, dat is een kracht  $\vec{F}_L$  dwars op de luchtstroom.



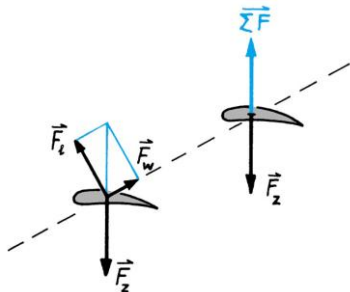
Door de vleugel wordt de lucht omlaag gedrukt en zet de vleugel zich dus tegen de lucht af. Blijkbaar heerst boven de vleugel een onderdruk. Zo’n onderdruk is aan te tonen met een blazende stofzuiger: een kerstbal blijft in de luchtstroom hangen, de bal zoekt het punt met de laagste druk op.



Als de liftkracht groot genoeg is, wordt de zwaartekracht gecompenseerd en ‘hangt het vliegtuig in de lucht’. Propeller- en straalvliegtuigen maken hun eigen luchtstroom. Een zweefvliegtuig moet enigszins vallen om voldoende luchtstroming langs zijn vleugels te ondervinden.

De liftkracht  $\vec{F}_L$  en de wrijvingskracht  $\vec{F}_w$  hebben  $\Sigma\vec{F}$  als resultante.

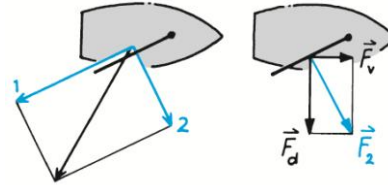
Als  $\Sigma\vec{F}$  de zwaartekracht  $\vec{F}_z$  compenseert, is het toestel stabiel. In plaats van te vallen, glijdt het dan met constante snelheid omlaag.



*Zeilschepen*

Bij zeilen en windsurfen treden soortgelijke effecten op. Veronderstel dat het zeil een stijve plaat is. Je kunt de richting van de wind dan ontbinden in richting 1 evenwijdig aan het zeil en richting 2 loodrecht erop. In richting 1 kan de wind geen kracht zetten, in richting 2 wel.

De kracht  $\vec{F}_2$  loodrecht op het zeil, ontbinden we in een voorwaartse component  $\vec{F}_v$  en een component  $\vec{F}_d$  dwars op de vaarrichting.  $\vec{F}_v$  zorgt voor de voortstuwing; de kracht op de kiel of het zwaard compenseert  $\vec{F}_d$  zodat het schip niet opzij wegdrijft.

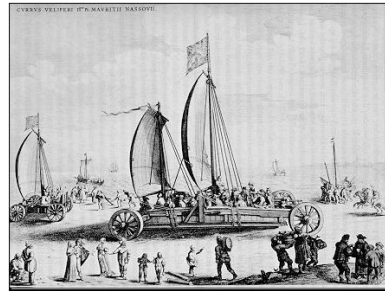


*richting wind*

In het echt is de situatie door de bolling van het zeil en de aanwezigheid van de fok en de mast aanzienlijk ingewikkelder.

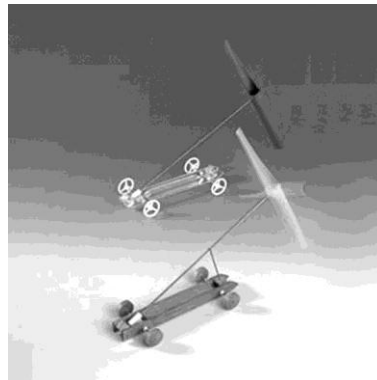
*De zeilwagen van Stevin*

Bekend is de zeilwagen die Stevin ontwierp. In twee uur tijd reden 28 man, waaronder Hugo de Groot en prins Frederik Hendrik, met 40 km/uur van Scheveningen naar Petten. Zelf was Stevin hier niet erg trots op, maar ironisch genoeg is die wagen ongeveer het enige dat de meeste mensen nog van hem weten.



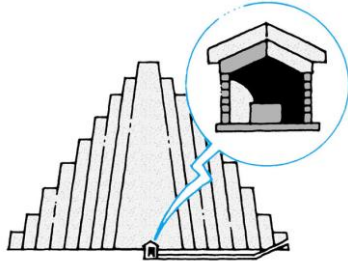
*Enemaal, tot kortswijl en om den Heeren een pots te doen, stierde sijn Excellentie de Wagen in Zee, waerover vele sich dapper ontzettekeden; maer subijt het roer gewent zijnde, quam de Wagen weer op strandt en vlood sijn oude koers.*

Deze propellerwagentjes rijden tegen de wind in!



## Bogen en bruggen

Met de zijkant van een fles die tijdens de fabricage te snel is afgekoeld kun je nog best een spijker in hout drijven. Maar laat je de spijker *in* de fles vallen, dan springt deze stuk. Een ei dat je in de lengterichting tussen duim en wijsvinger houdt, is bijna niet stuk te knijpen. In principe kun je op een dozijn eieren zelfs staan zonder dat er één breekt. Aan de andere kant komt een kuiken er toch maar uit. Een gebogen vorm is dus sterk van buiten naar binnen en zwak van binnen naar buiten. Steenachtige blokken zijn goed bestand tegen druk, maar niet tegen trek of doorbuiging. De oude Grieken bouwden vrijwel alleen horizontale overspanningen en gebruikten daarom veel pilaren. De stenen zouden anders onder hun eigen gewicht breken. Ook de Egyptenaren gebruikten geen echte boogconstructies. Ze verdeelden de last van hun piramiden gelijkmatig over de ondergrond door de belasting naar de randen toe af te leiden. Anders zou de graftombe in het midden instorten.



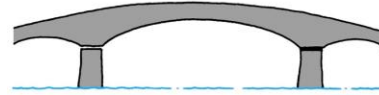
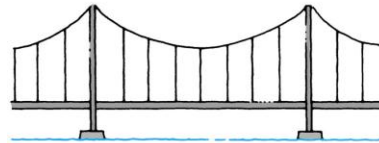
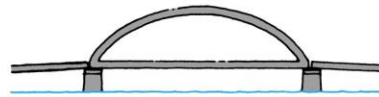
Het dak van de graftombe zelf vertoont dat afleiden nog sterker.

Misschien wisten ze ook al dat je een tunnel kunt graven onder een zandhoop omdat de druk midden onder relatief laag is: de hoop stut zichzelf.

De Romeinen waren meesters in het toepassen van de boogconstructie. Sommige bogen legden ze zelfs zonder mortel te gebruiken. Zo gauw als de bovenste steen was aangebracht, werd de bekisting weggehaald en was de boog klaar. De ideale lijn van zo'n boog wordt de *druklijn* genoemd omdat er dan alleen drukkrachten en geen schuifkrachten optreden.



In hedendaagse bruggen zie je die boog nog steeds, onder of boven het wegdek.

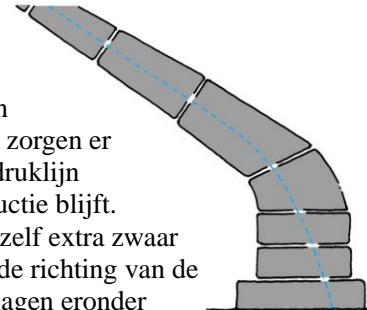


- Bij de eerste brug zorgt het wegdek ervoor dat de boogeinden bij elkaar blijven, zodat de steunpunten alleen verticaal belast worden.

- De pijlers van een hangbrug worden door de belasting naar elkaar toe getrokken. Vandaar dat ze met kabels aan de wal worden vastgemaakt. Zie ook de openingsfoto van dit hoofdstuk.

Als de last eerlijk verdeeld is, verloopt de druklijn volgens een parabool (zie **Extra**). In de praktijk wordt vaak — uit economische motieven — gekozen voor een parabool die acht keer zo lang als hoog is.

- De ondersteuning van de derde brug zijn breed omdat de druklijn binnen de fundering moet blijven.



De steun-beren in romaanse kerken zorgen er ook voor dat de druklijn binnen de constructie blijft.

Door de steunen zelf extra zwaar te maken, wordt de richting van de resultante op de lagen eronder meer verticaal.

In gothische bouwwerken wordt dit effect bereikt door smalle steunberen te verzwaren met torentjes (pinakels). De druklijn gaat door dit extra gewicht meer verticaal lopen.

