

Fluïdummechanica

Vormweerstand en vleugelprofielen

Brecht Baeten¹

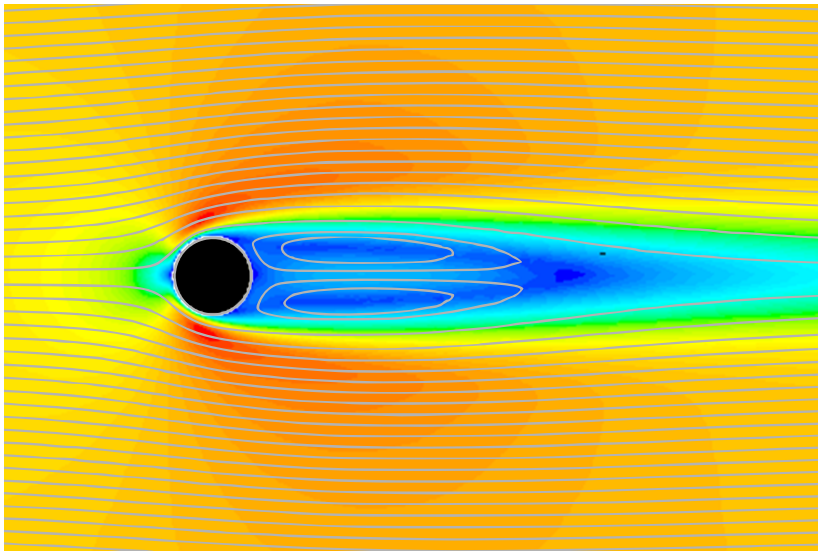
¹KU Leuven, Technologie campus Diepenbeek,
e-mail: brecht.baeten@kuleuven.be

29 november 2016

Inhoud

- 1 Inleiding
- 2 Potentiaalstroming
- 3 Stroming rond een cilinder
- 4 Loshechting
- 5 Vleugelprofielen

Voorbeeld



Weerstandscoefficiënt

Op elk voorwerp in een stroming wordt een kracht in de richting van de stroming uitgeoefend.

Weerstandscoefficiënt

Op elk voorwerp in een stroming wordt een kracht in de richting van de stroming uitgeoefend.

Weerstandskraft

Weerstandscoefficiënt

Op elk voorwerp in een stroming wordt een kracht in de richting van de stroming uitgeoefend.

Weerstandskraft

Dimensieanalyse:

$$F_d = f(\rho, v, \nu, D, \text{vorm})$$

Weerstandscoefficiënt

Op elk voorwerp in een stroming wordt een kracht in de richting van de stroming uitgeoefend.

Weerstandskraft

Dimensieanalyse:

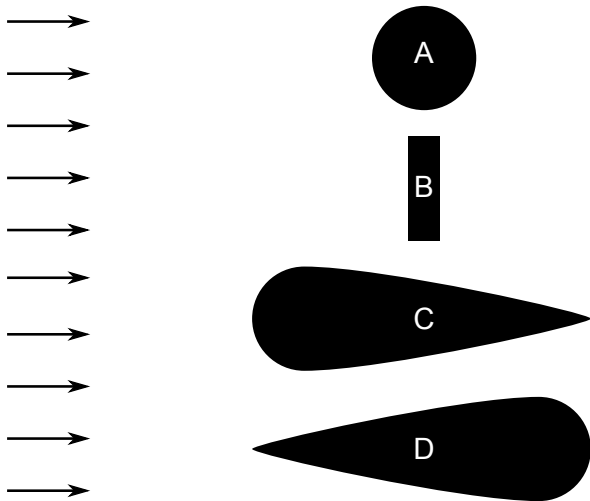
$$F_d = f(\rho, v, \nu, D, \text{vorm})$$

Weerstandscoefficiënt

$$C_d = \frac{F_d}{1/2 \rho v^2 A} \quad (1)$$

$$C_d(\text{Re}, \text{vorm})$$

Demo



Inhoud

- 1 Inleiding
- 2 Potentialaalstroming**
- 3 Stroming rond een cilinder
- 4 Loshechting
- 5 Vleugelprofielen

Potentialstroming

Euler vergelijkingen voor 2D stationaire stroming

$$\rho v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + \rho v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + g_x$$

$$\rho v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + \rho v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + g_y$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0$$

Potentiaalstroming

Euler vergelijkingen voor 2D stationaire stroming

$$\rho v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + \rho v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + g_x$$

$$\rho v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + \rho v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + g_y$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0$$

Rotatie is constant

$$\omega = \frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial y} = \text{Cst}$$

Potentialstroming

$$\omega = \frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial y} = \text{Cst}$$

Potentiaalstroming

$$\omega = \frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial y} = \text{Cst}$$

Indien de rotatie nul is ($\omega = 0$):

Potentiaalstroming

$$\omega = \frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial y} = \text{Cst}$$

Indien de rotatie nul is ($\omega = 0$):

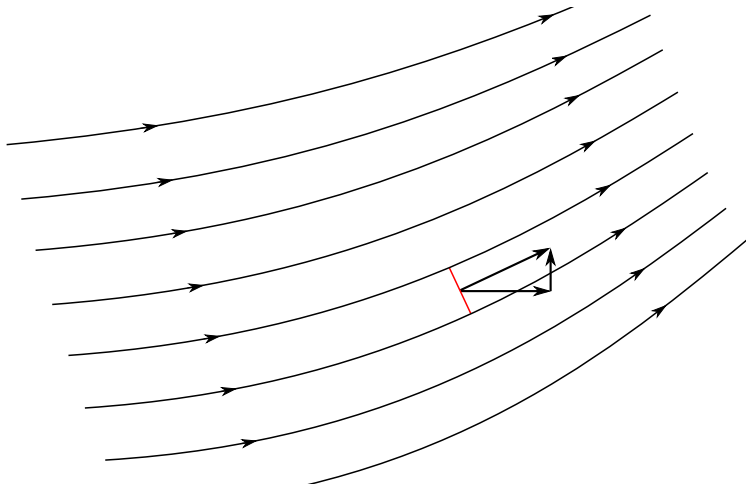
Er bestaat een stroom- en potentiaalfunctie die voldoet aan de Laplace vergelijking waaruit de snelheidscomponenten kunnen afgeleid worden.

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0 \quad (2)$$

$$v_x = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad (3)$$

$$v_y = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (4)$$

Stroomfunctie



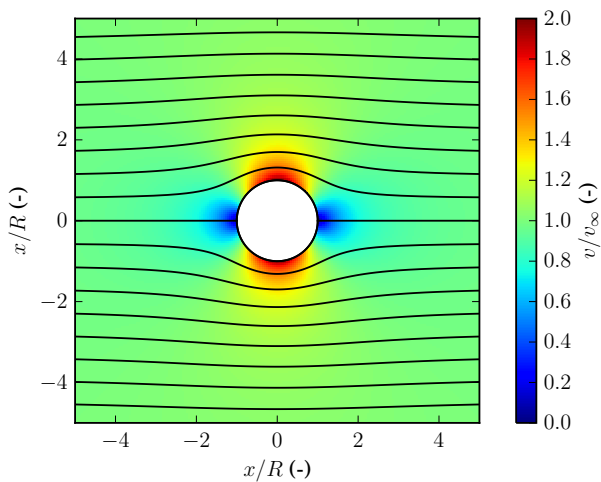
Inhoud

- 1 Inleiding
- 2 Potentiaalstroming
- 3 Stroming rond een cilinder
- 4 Loshechting
- 5 Vleugelprofielen

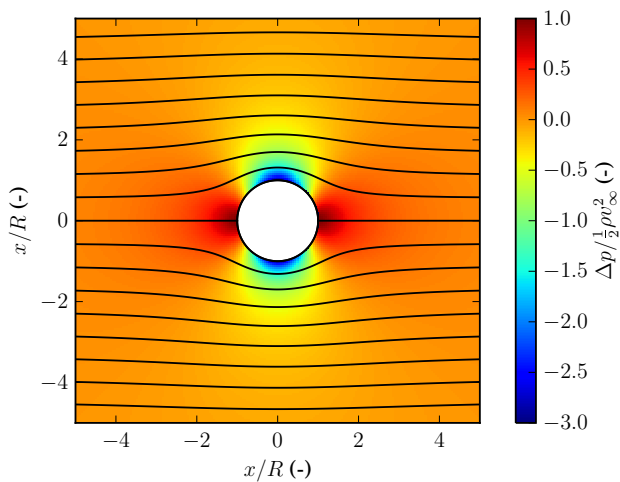
Potentiaalstroming

- Poolcoördinaten
- Randvoorwaarden, ver van de cilinder en op de cilinderwand
- Superpositie van uniforme stroming en doublet

Potentiaalstroming



Potentiaalstroming



Potentialaalstroming

Potentialaalstroming rond een cilinder geeft geen weerstandskracht

Kruipende stroming

- Zeer lage snelheid
- Zeer hoge viskeuze krachten
- Gekarakteriseerd door een zeer laag Reynoldsgetal

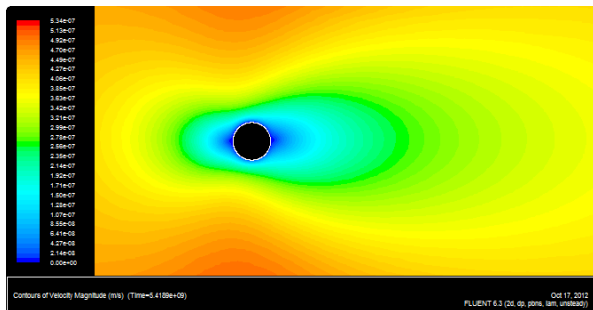
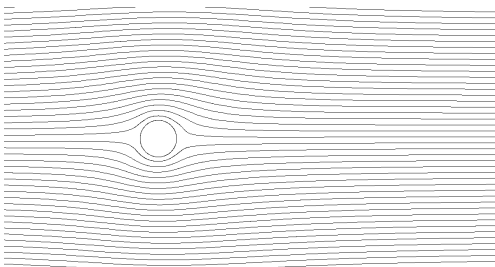
Kruipende stroming

- Zeer lage snelheid
- Zeer hoge viskeuze krachten
- Gekarakteriseerd door een zeer laag Reynoldsgetal

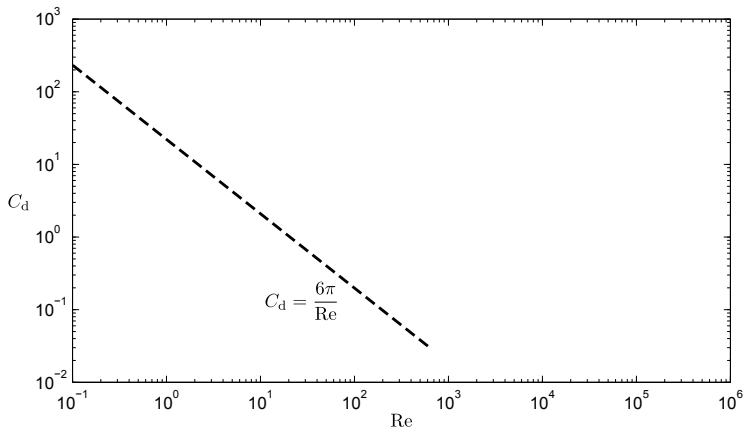
Analytische oplossing mogelijk
Stokes flow

Kruipende stroming

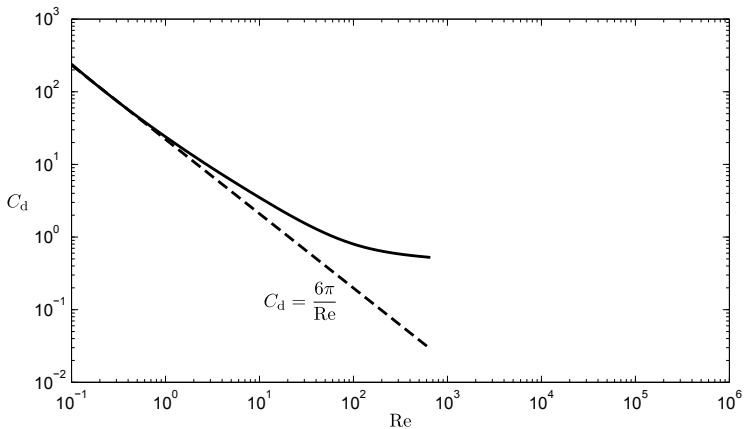
$$Re = 1$$



Kruipende stroming

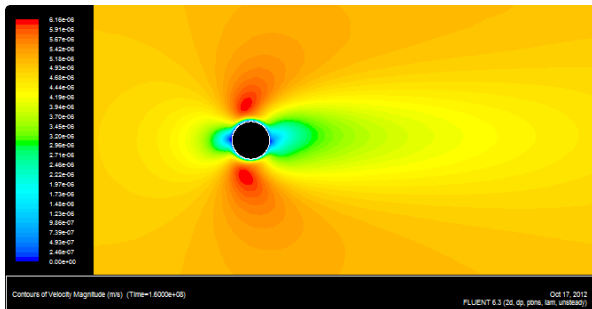
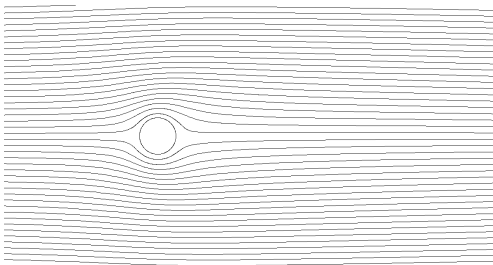
 $Re = 1$ 

Kruipende stroming

 $Re = 1$ 

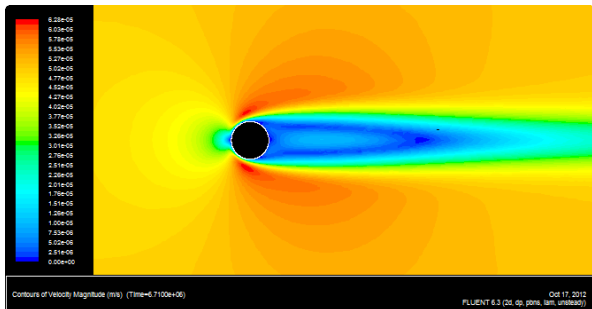
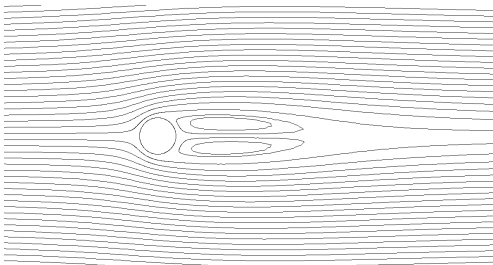
Viskeuze stroming

$$Re = 10$$



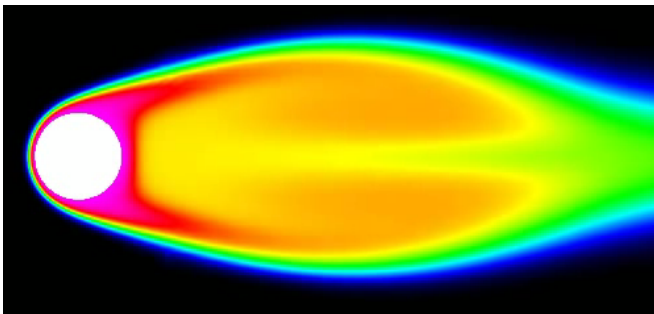
Viskeuze stroming

$$Re = 100$$



Viskeuze stroming

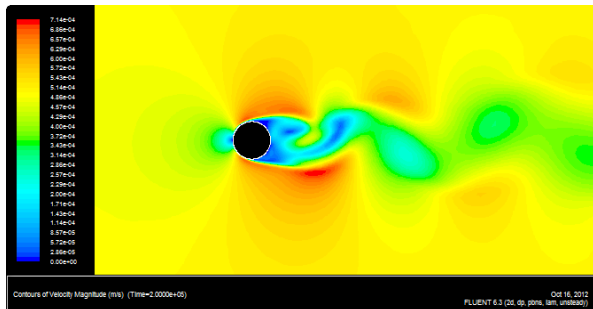
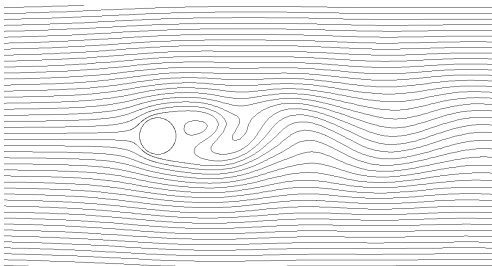
$$Re = 250$$



Bron: <https://www.youtube.com/watch?v=IDeGDFZSYo8>

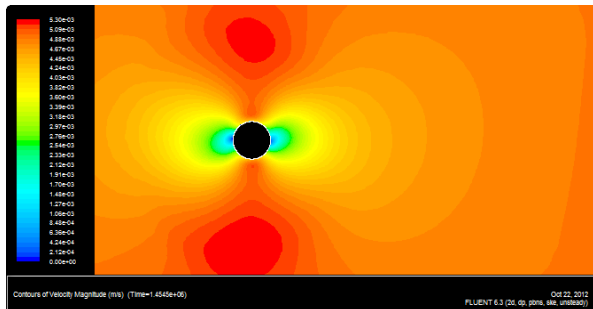
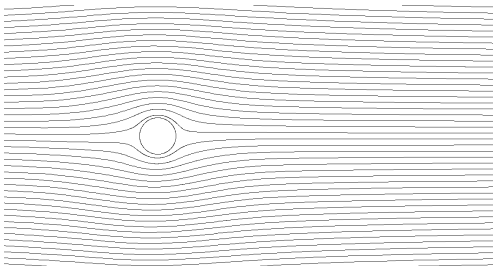
Viskeuze stroming

$$Re = 1000$$

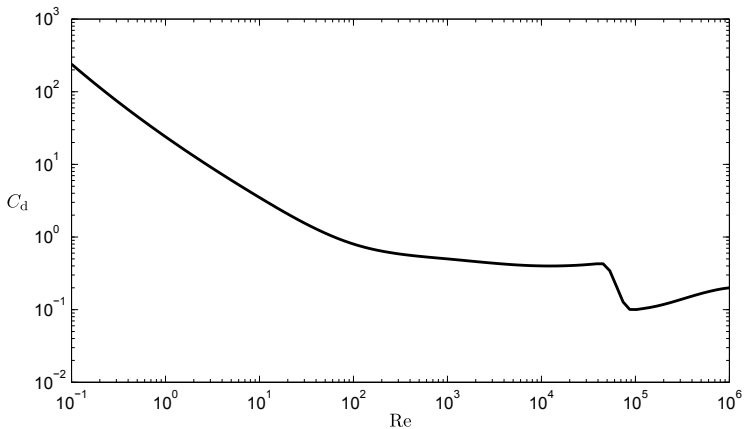


Viskeuze stroming

$$Re = 100000$$



Weerstandscoefficiënt

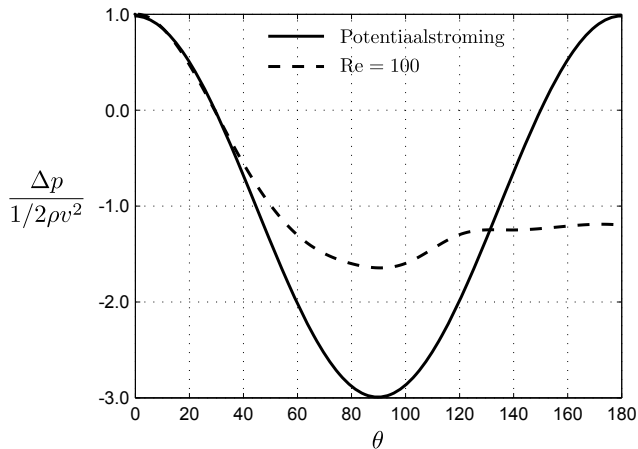


Inhoud

- 1 Inleiding
- 2 Potentiaalstroming
- 3 Stroming rond een cilinder
- 4 Loshechting**
- 5 Vleugelprofielen

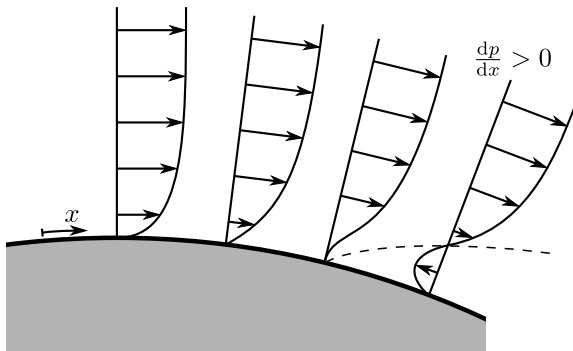
Drukverloop

Drukverloop



Loshechting

Loshechting



Loshechting

Voorzijde:

Druk wordt omgezet naar kinetische energie

Loshechting

Voorzijde:

Druk wordt omgezet naar kinetische energie

Achterzijde:

Kinetische energie moet terug worden omgezet in drukstijging

Loshechting

Voorzijde:

Druk wordt omgezet naar kinetische energie

Achterzijde:

Kinetische energie moet terug worden omgezet in drukstijging

Energie is gedeeltelijk gedissipeerd door viskeuze wrijving

Loshechting

Voorzijde:

Druk wordt omgezet naar kinetische energie

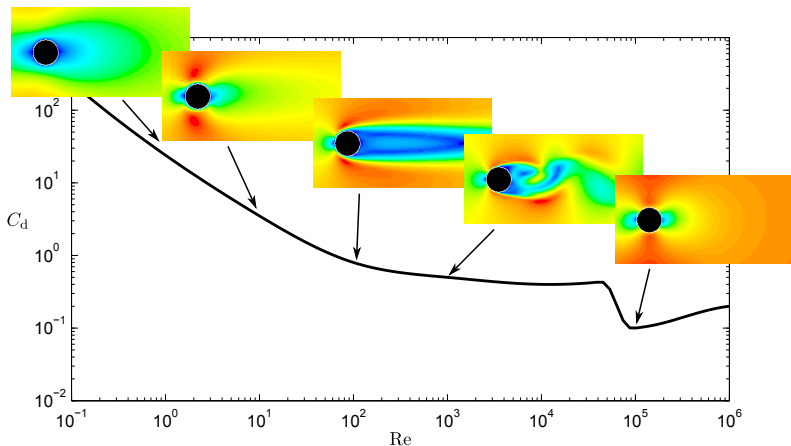
Achterzijde:

Kinetische energie moet terug worden omgezet in drukstijging

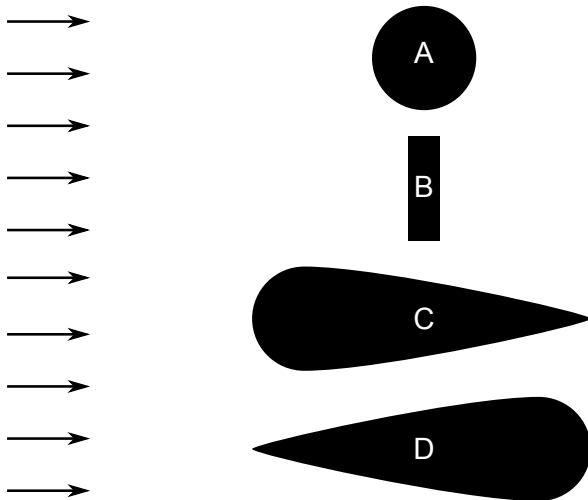
Energie is gedeeltelijk gedissipeerd door viskeuze wrijving

Achterste stagnatiepunt verschuift en de druk wordt niet verder opgebouwd

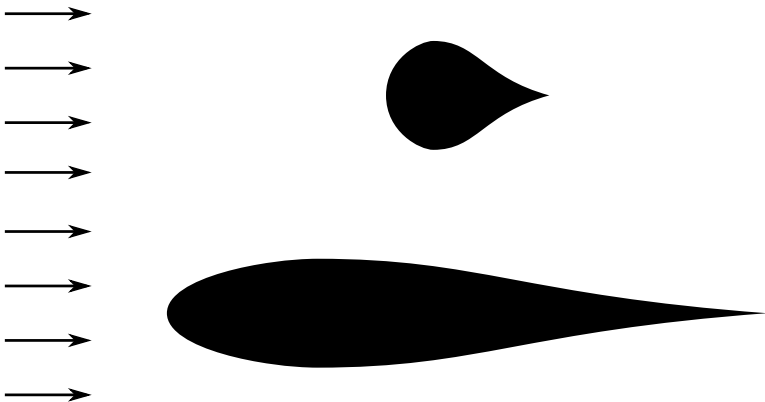
Weerstandscoefficiënt



Demo



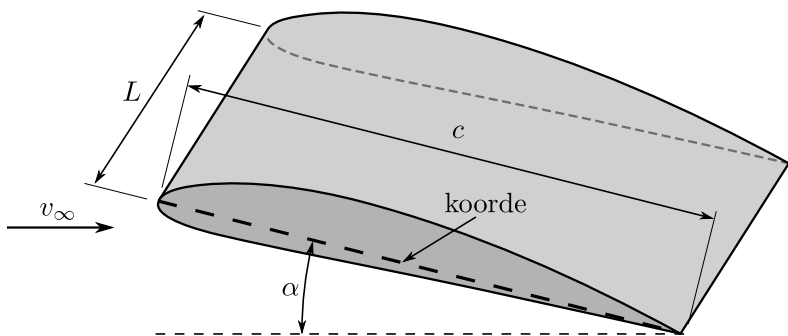
Oppervlakte weerstand - Vorm weerstand



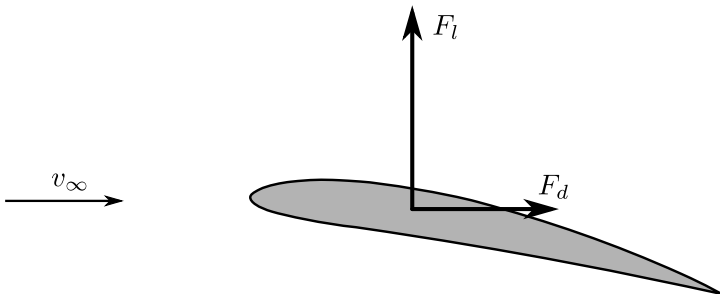
Inhoud

- 1 Inleiding
- 2 Potentiaalstroming
- 3 Stroming rond een cilinder
- 4 Loshechting
- 5 Vleugelprofielen**

Definities



Definities



Definities



Dimensieanalyse:

$$F_d = f(\rho, v, \nu, c, L, \alpha, \text{vorm})$$

$$F_l = g(\rho, v, \nu, c, L, \alpha, \text{vorm})$$

Definities



Dimensieanalyse:

$$F_d = f(\rho, v, \nu, c, L, \alpha, \text{vorm})$$

$$F_l = g(\rho, v, \nu, c, L, \alpha, \text{vorm})$$

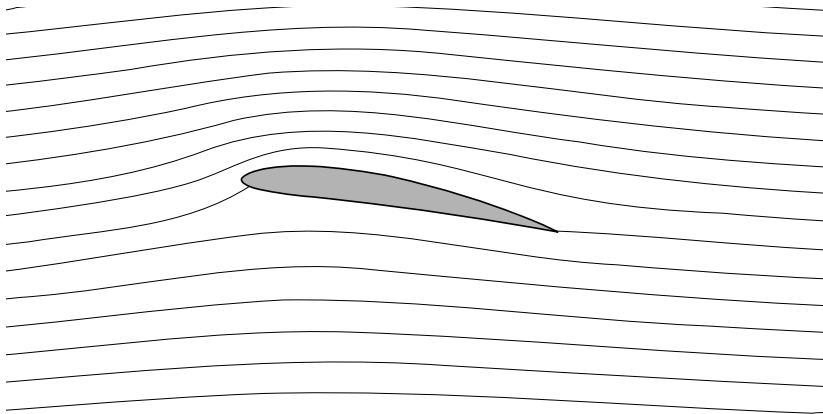
Weerstands- en Liftcoëfficiënt

$$C_d = \frac{F_d}{1/2 \rho v^2 A} \quad (5)$$

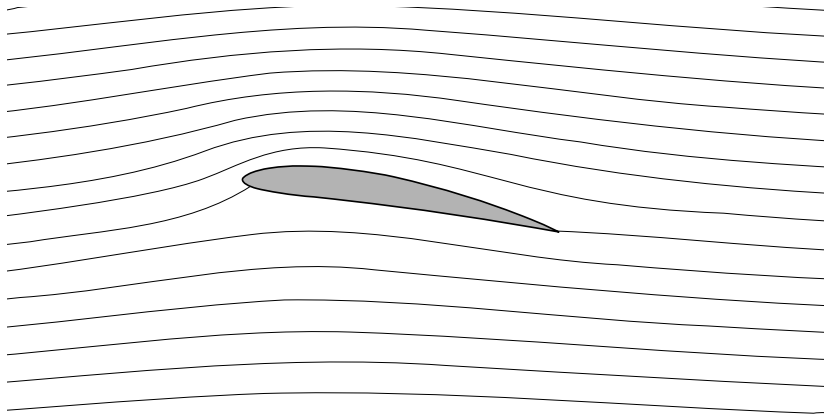
$$C_l = \frac{F_l}{1/2 \rho v^2 A} \quad (6)$$

$$A = cL \quad C_d(\alpha, Re, \text{vorm}) \quad C_l(\alpha, Re, \text{vorm})$$

Lift generatie

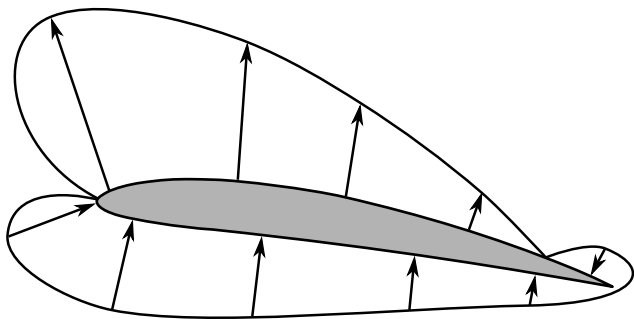


Lift generatie

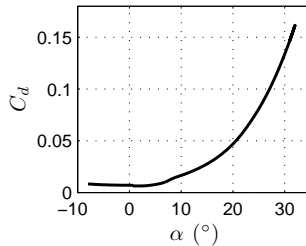
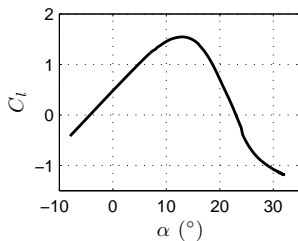


Door het vleugelprofiel zal de stroming van richting veranderen

Drukverdeling



Verloop van lift- en weerstandscoefficiënt



Stall



Bron: <https://www.youtube.com/watch?v=6UlsArvbTeo>