

# Fluïdummechanica

## Vormweerstand en vleugelprofielen

Brecht Baeten<sup>1</sup>

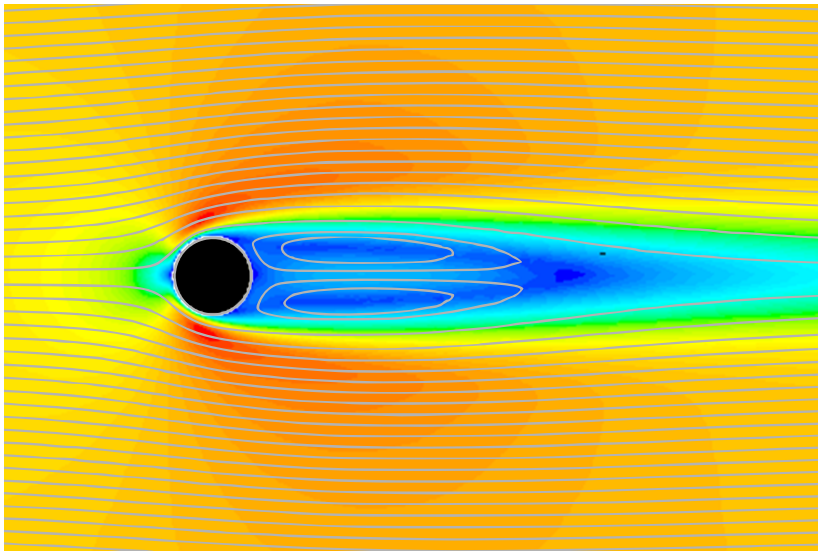
<sup>1</sup>KU Leuven, Technologie campus Diepenbeek,  
e-mail: brecht.baeten@kuleuven.be

18 oktober 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.

Weerstandskracht

Dimensieanalyse:

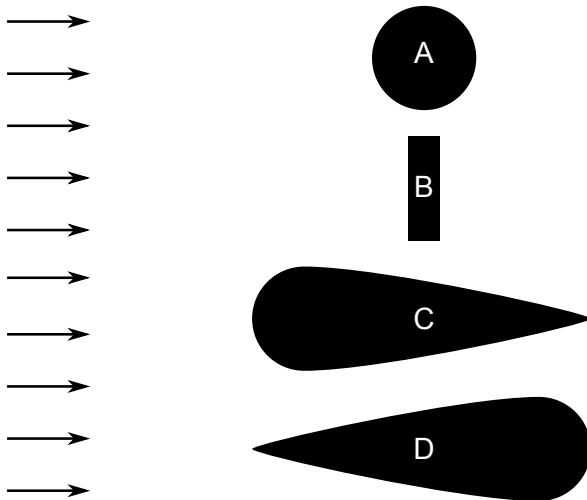
$$F_d = f(\rho, v, \nu, D, \text{vorm})$$

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 ( $\omega = 0$ ):

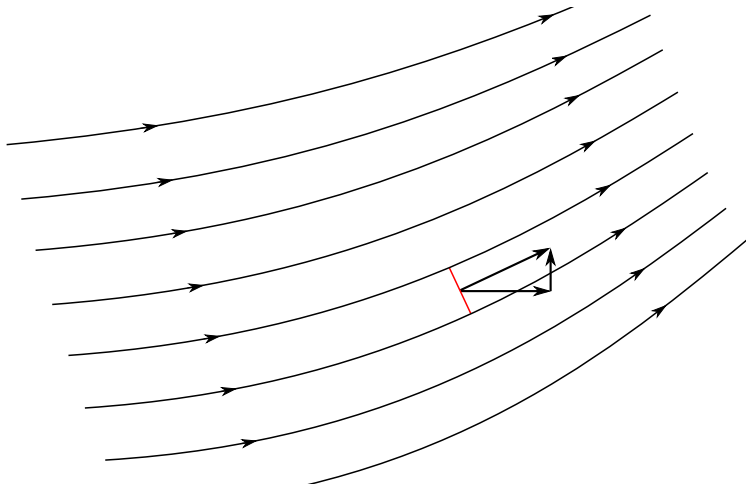
Er bestaat een stroom- en potentiaalfunctie die voldoet aan de Laplace vergelijking waaruit de snelheidscomponenten kunnen afgeleid worden.

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

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

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

# Stroomfunctie



# Inhoud

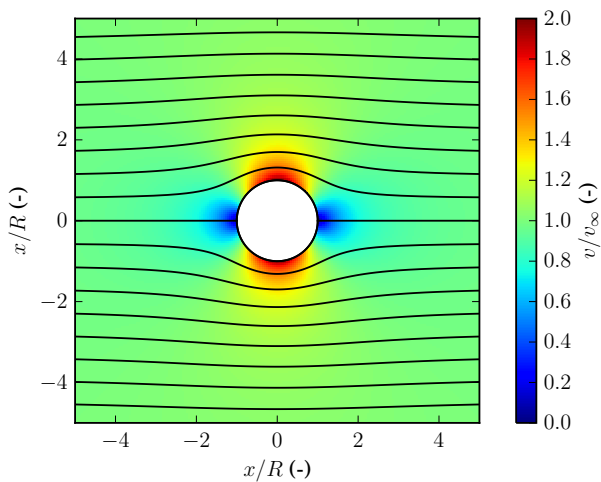
- 1 Inleiding
- 2 Potentiaalstroming
- 3 Stroming rond een cilinder**
- 4 Loshechting
- 5 Vleugelprofielen



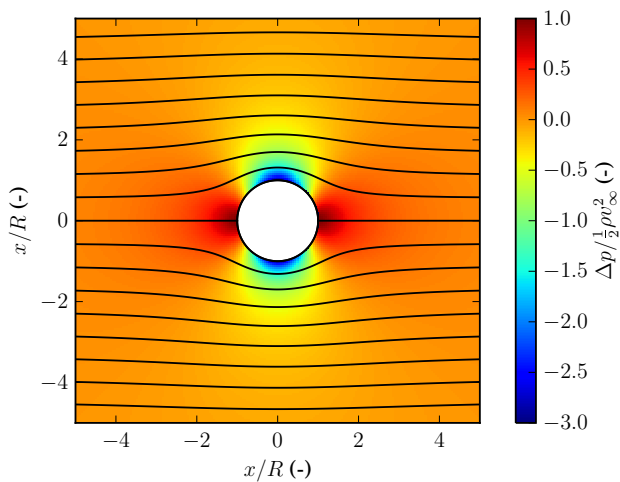
# Potentiaalstroming

- 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

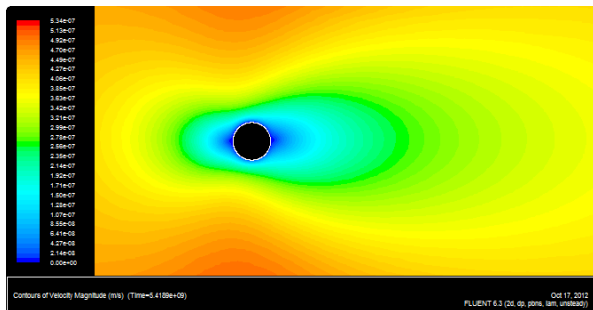
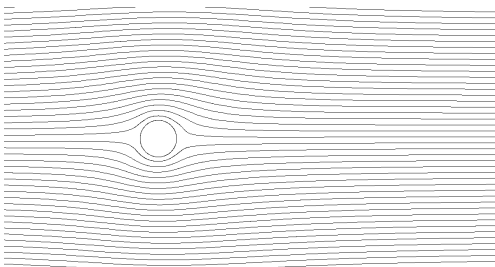
# Kruipende stroming

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

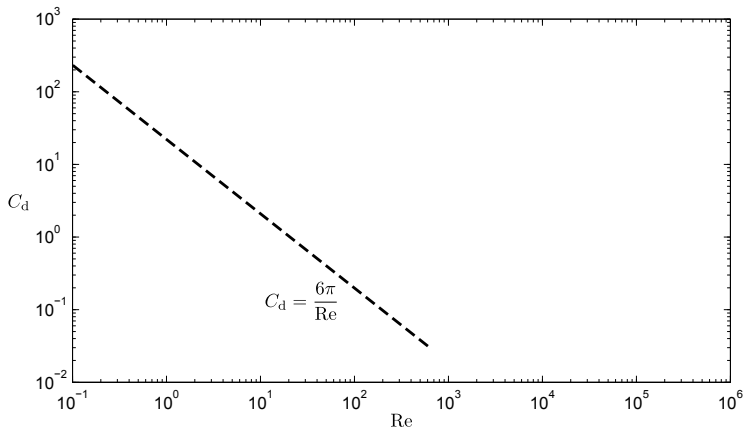
Analytische oplossing mogelijk  
Stokes flow

# Kruipende stroming

$$Re = 1$$

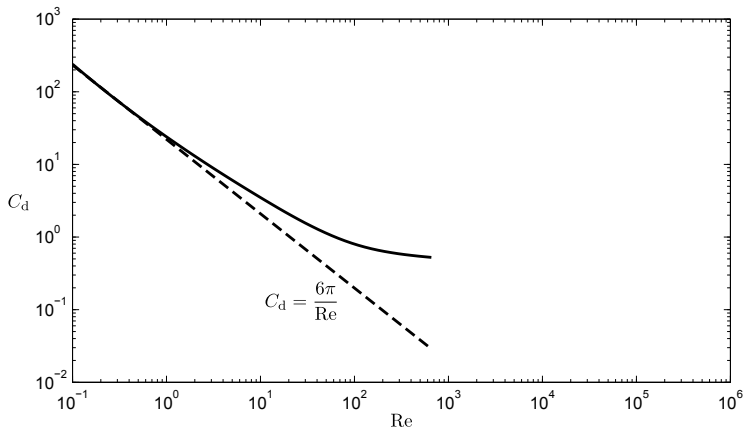


# Kruipende stroming

 $Re = 1$ 

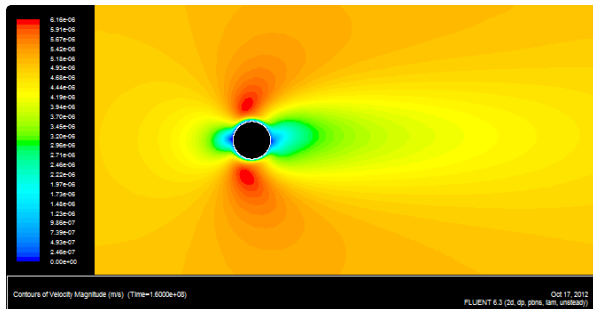
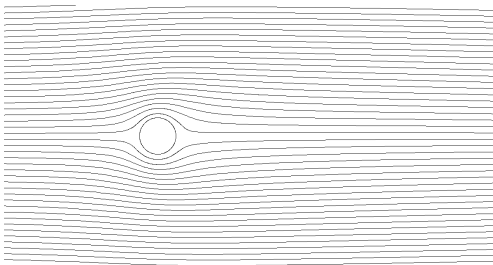


# Kruipende stroming

 $Re = 1$ 

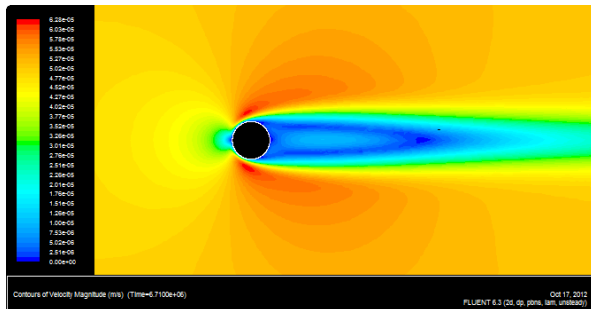
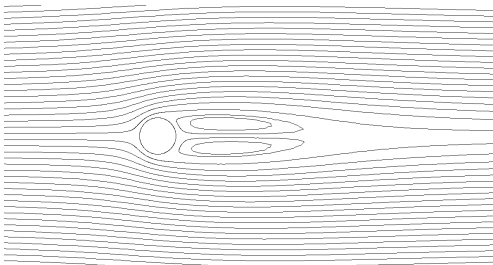
# Viskeuze stroming

$$Re = 10$$



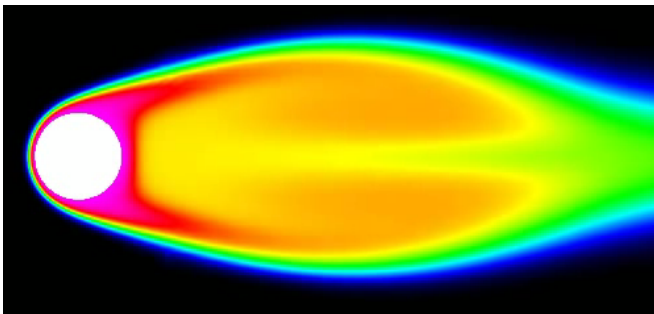
# Viskeuze stroming

$$Re = 100$$



# Viskeuze stroming

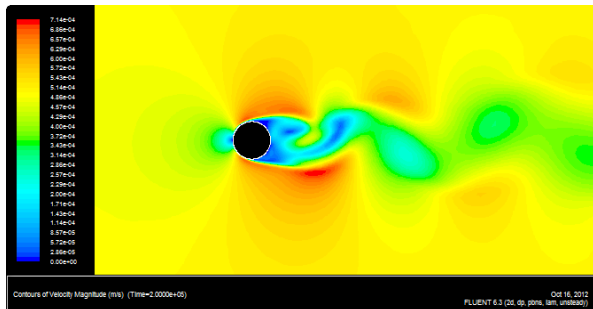
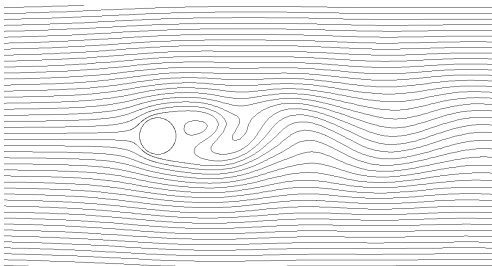
$$Re = 250$$



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

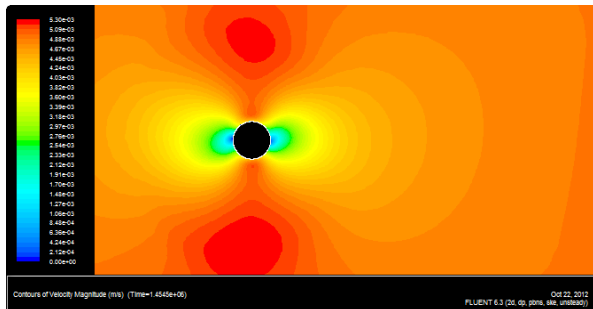
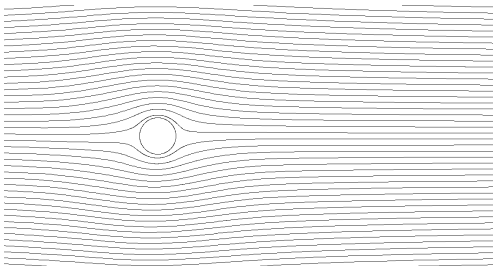
# Viskeuze stroming

$$Re = 1000$$

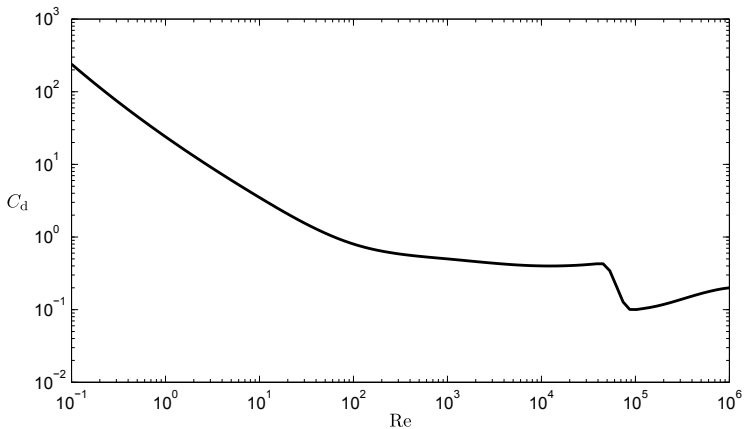


# Viskeuze stroming

$$Re = 100000$$



# Weerstandscoefficiënt



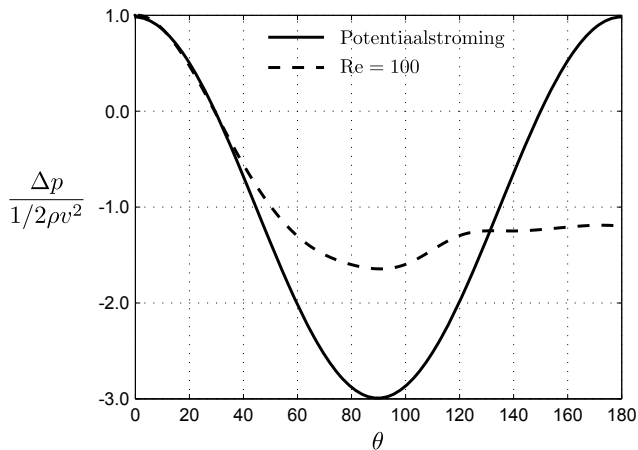
# Inhoud

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



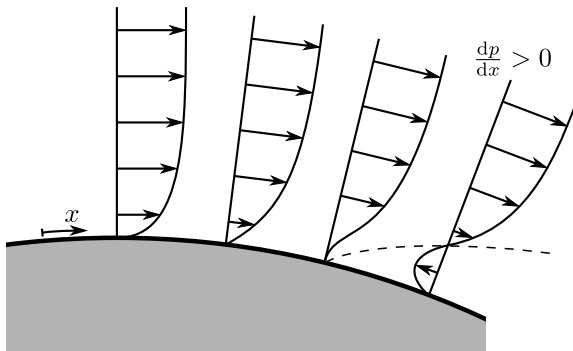
# Drukverloop

# 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:

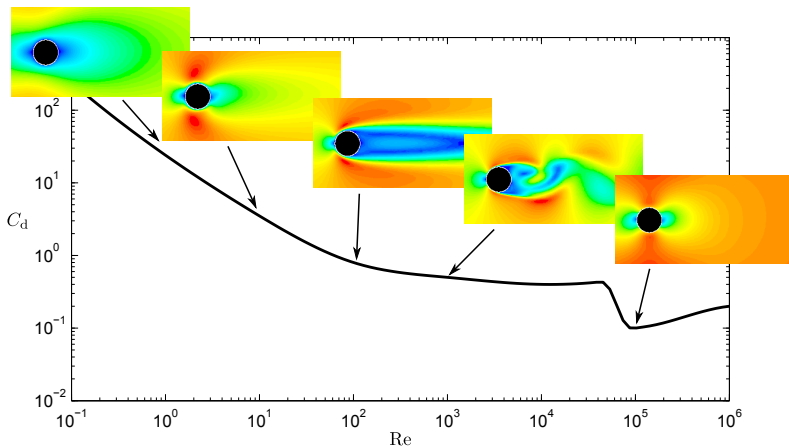
Kinetische energie moet terug worden omgezet in drukstijging

Energie is gedeeltelijk gedissipeerd door viskeuze wrijving

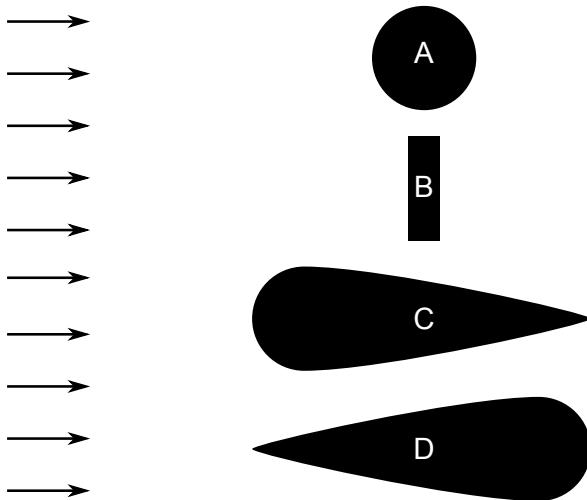
Achterste stagnatiepunt verschuift en de druk wordt niet verder opgebouwd



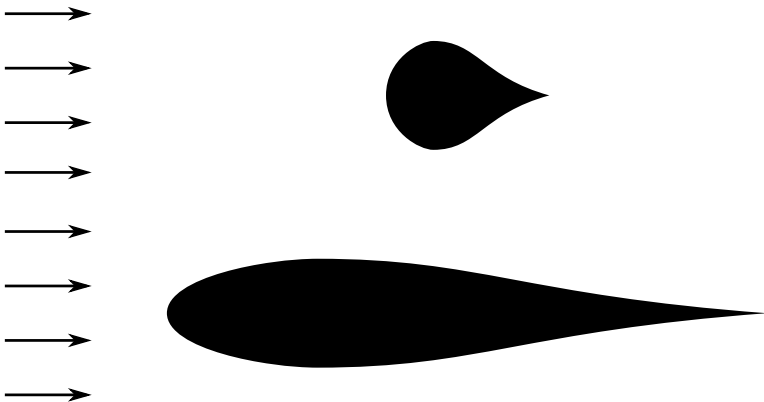
# Weerstandscoefficiënt



# Demo



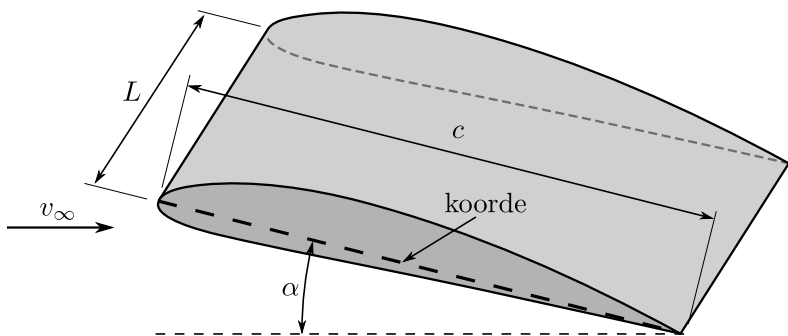
# Oppervlakte weerstand - Vorm weerstand



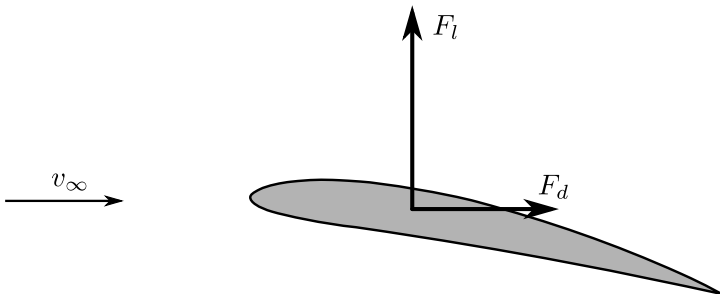
# Inhoud

- 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:

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

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

Weerstand- en Liftcoëfficiënt

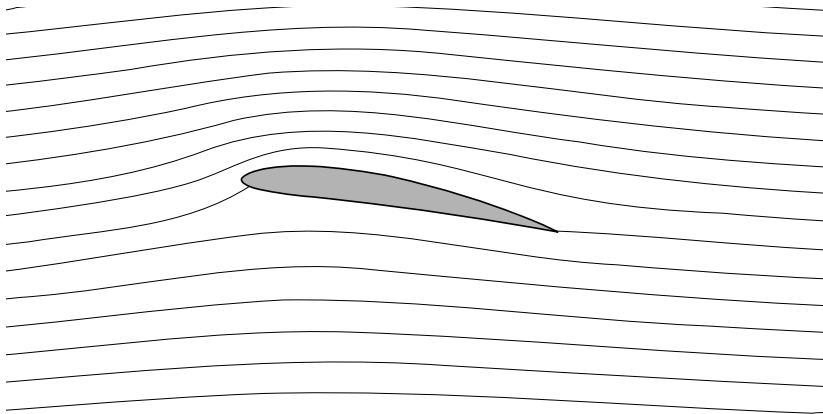
$$C_d = \frac{F_d}{1/2 \rho v^2 A} \quad (5)$$

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

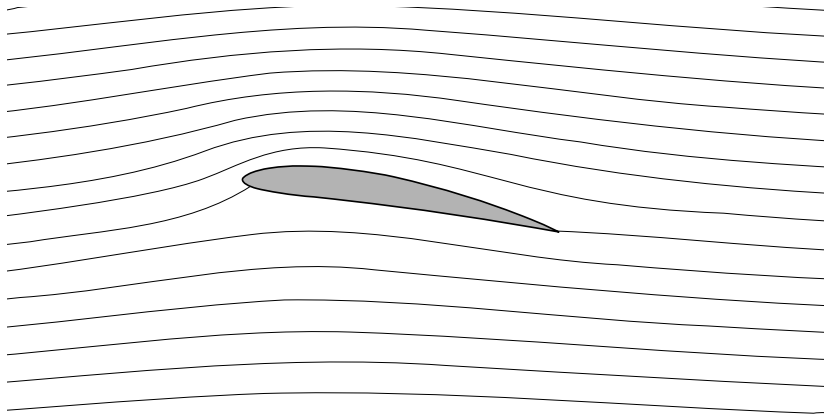
$$A = cL \quad C_d(\alpha, Re, \text{vorm}) \quad C_l(\alpha, Re, \text{vorm})$$



# Lift generatie

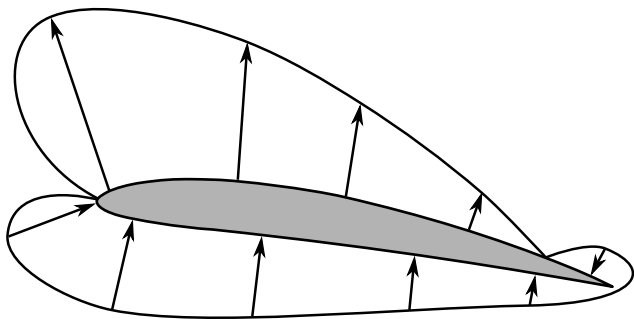


# Lift generatie

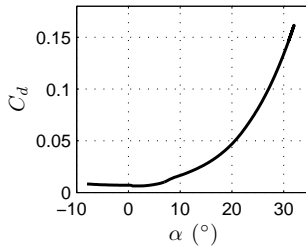
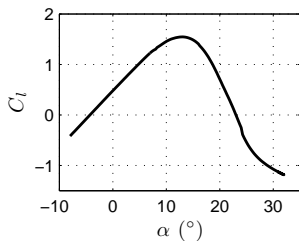


Door het vleugelprofiel zal de stroming van richting veranderen

# Drukverdeling



# Verloop van lift- en weerstandscoefficiënt



# Stall



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