

# CT3011: Inleiding watermanagement

## 2: Water in de bodem

**College 2: Waterbeheer**  
**4 september 2008**

**Nick van de Giesen**  
**Frans vd Ven**



# CT3011: Inleiding watermanagement

## Samen *werken* met water

Een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst

Bevindingen van de Deltacommissie 2008

DELTA  COMMISSIE

**CT3011 2: Water in de bodem**

 **TU**Delft

# CT3011: Inleiding watermanagement

## Colleges:

- 1. Water in de wereld**
- 2. Water in de bodem**
- 3. Polders**
- 4. Irrigatie**
- 5. Kunstwerken & operationeel**
- 6. Reservoirs (+review)**

# CT3011: Inleiding watermanagement

## Colleges:

1. Water in de wereld
- 2. Water in de bodem**
3. Polders
4. Irrigatie
5. Kunstwerken & operationeel
6. Reservoirs (+review)

# CT3011: Inleiding watermanagement

## Water in de bodem:

- 1. Wateroverlast in de stad**
- 2. Potentiaal**
- 3. Darcy  $\Rightarrow$  Laplace  $\Rightarrow$  Boussinesq**
- 4. Drainage formules**
- 5. Een droog huis**

# 1 Wateroverlast in de stad

## Water in de bodem:

### 1. Wateroverlast in de stad

### 2. Potentiaal

### 3. Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

### 4. Drainage formules

### 5. Een droog huis



# 1 Wateroverlast in de stad



**MSc Lucas vd Winkel:**  
**Wateroverlast in Delft  
en Enschede**

# 1 Wateroverlast in de stad



**Rietland e.o.**

MSc Lucas vd Winkel



# 1 Wateroverlast in de stad



**Rietland e.o.**

Lucas vd Winkel

# 1 Wateroverlast in de stad



**Rietland e.o.**

Lucas vd Winkel

# 1 Wateroverlast in de stad



**Rietland e.o.  
Grondwater**

MSc Lucas vd Winkel

# 1 Wateroverlast in de stad

**Rietland e.o.  
Grondwater**



MSc Lucas vd Winkel

# 1 Wateroverlast in de stad

Maatregelen ter bestrijding van  
grondwateroverlast in bestaand  
stedelijk gebied

Een afweging van maatregelen



Tauw

MSc Lucas vd Winkel

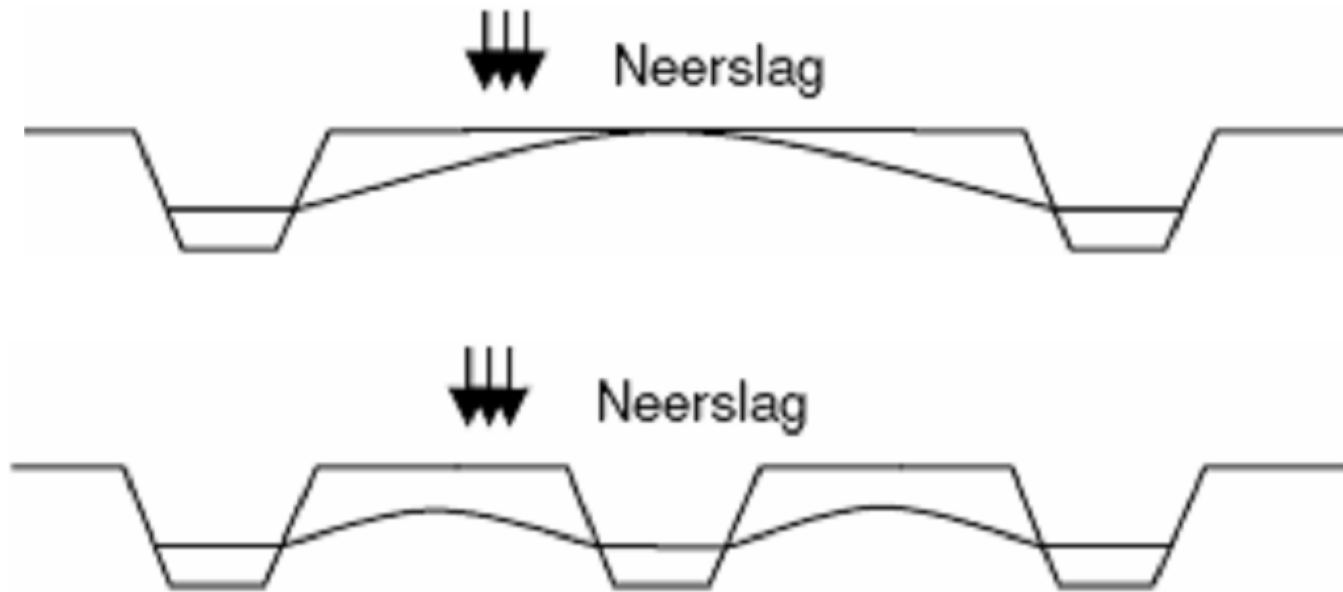
# 1 Wateroverlast in de stad



**Acrylamide**

MSc Lucas vd Winkel

# 1 Wateroverlast in de stad



**Drainage!**

MSc Lucas vd Winkel

# 1 Wateroverlast in de stad



- **Afstand drains?**
- **Diepte drains?**
- **Hoe beweegt water door bodem?**



# 2 Potentiaal

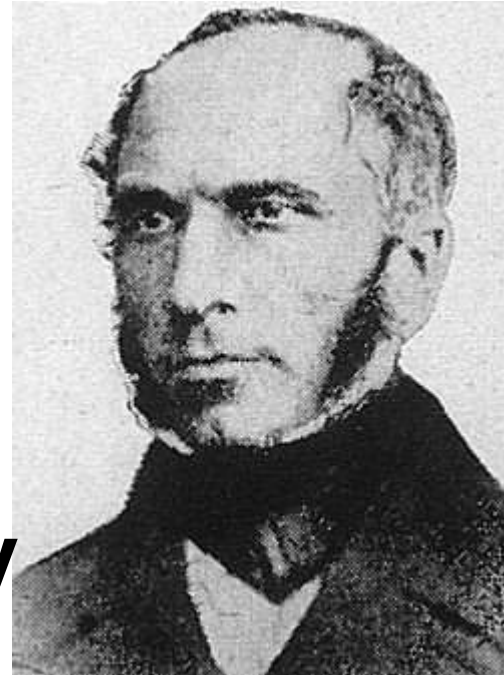
## Water in de bodem:

1. Wateroverlast in de stad
- 2. Potentiaal**
3. Darcy  $\rightarrow$  Laplace  $\Rightarrow$  Boussinesq
4. Drainage formules
5. Een droog huis

## 2 Potentialiaal

**Water beweegt van hoog naar laag  
potentialiaal...**

**Darcy**

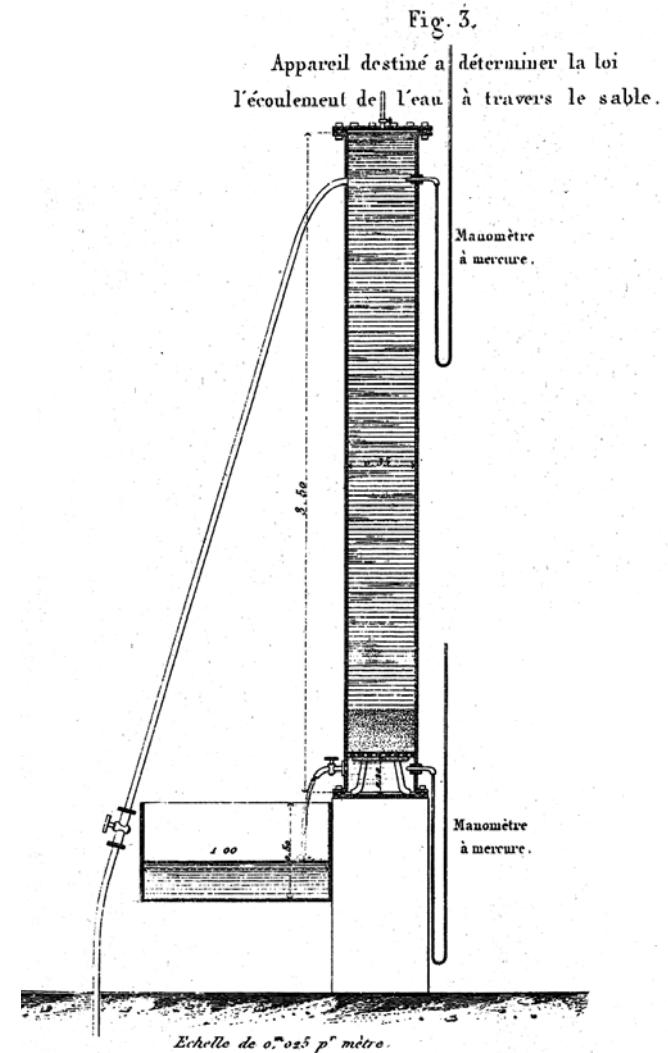


## 2 Potentiaal

**Water beweegt van  
hoog naar laag  
potentiaal...**

**Zandfilter**

$$Q = \frac{ks}{e} [H + e]$$

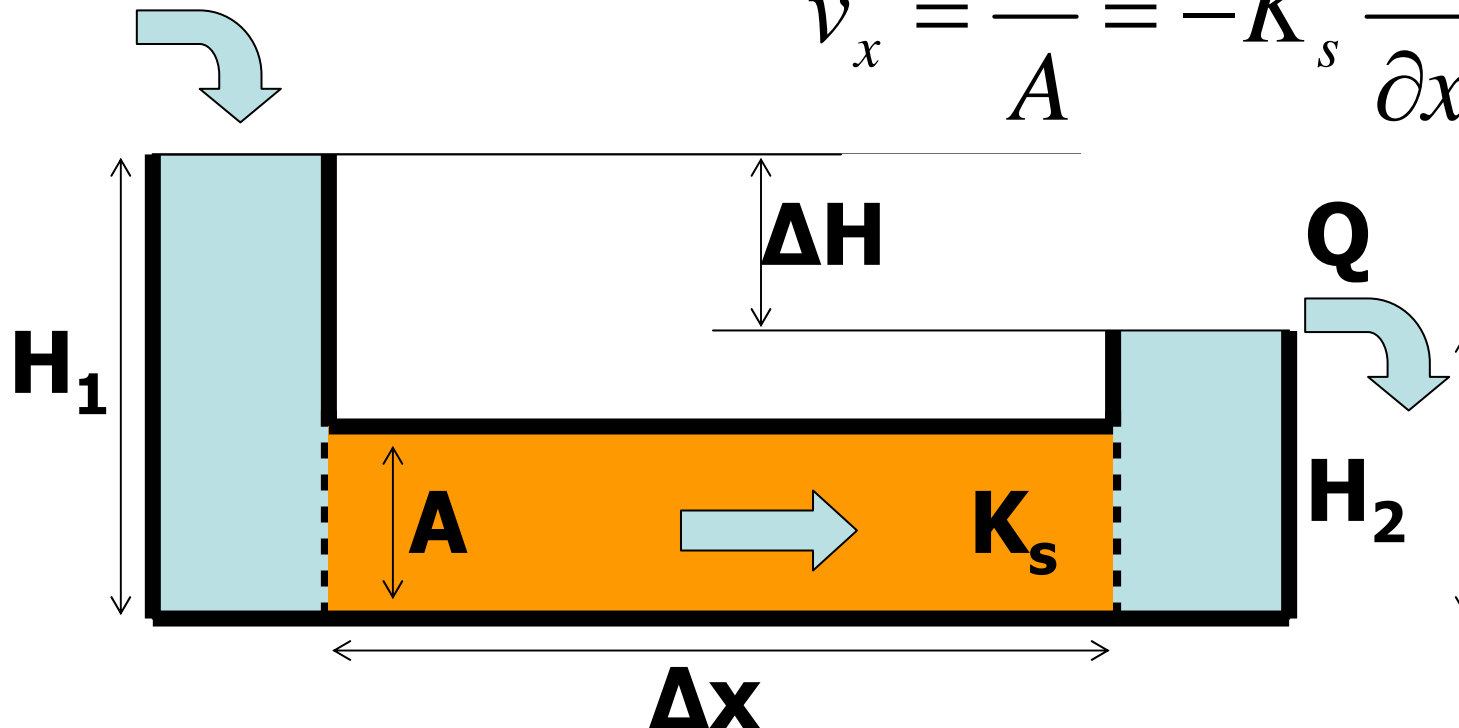


## 2 Potentiaal

Wet v Darcy

$$Q = A \cdot K_s \frac{H_1 - H_2}{\Delta x}$$

$$v_x = \frac{Q}{A} = -K_s \frac{\partial h}{\partial x}$$



## 2 Potentiaal

### Potentiaal in een punt:

*“De energie per hoeveelheid water die nodig is om een oneindig klein beetje zuiver water van een referentie niveau reversibel en isotherm naar het punt te brengen.”*

## 2 Potentiaal

### Potentiaal in een punt:

*“ De energie per hoeveelheid water die nodig is om een oneindig klein beetje zuiver water van een referentie niveau reversibel en isotherm naar het punt te brengen.”*

## 2 Potentiaal

### Potentiaal in een punt:

“ *De energie per hoeveelheid water die nodig is om een oneindig klein beetje zuiver water van een referentie niveau reversibel en isotherm naar het punt te brengen.*”

## 2 Potentiaal

### Potentiaal:

$$\varphi \quad J / kg$$

$$\phi \quad J / m^3$$

$$h \quad J / N = Nm / N = m$$



## 2 Potentiaal

**Potentiaal:**

$$\varphi \quad J / kg$$

$$\phi \quad J / m^3$$

$$h \quad J / N = Nm / N = m$$

**Stijghoogte**

**Handigst indien gelijke dichtheid**

## 2 Potentiaal

**Potentiaal:**



**Peilbuis  
installatie**

## 2 Potentiaal

### Potentiaal:

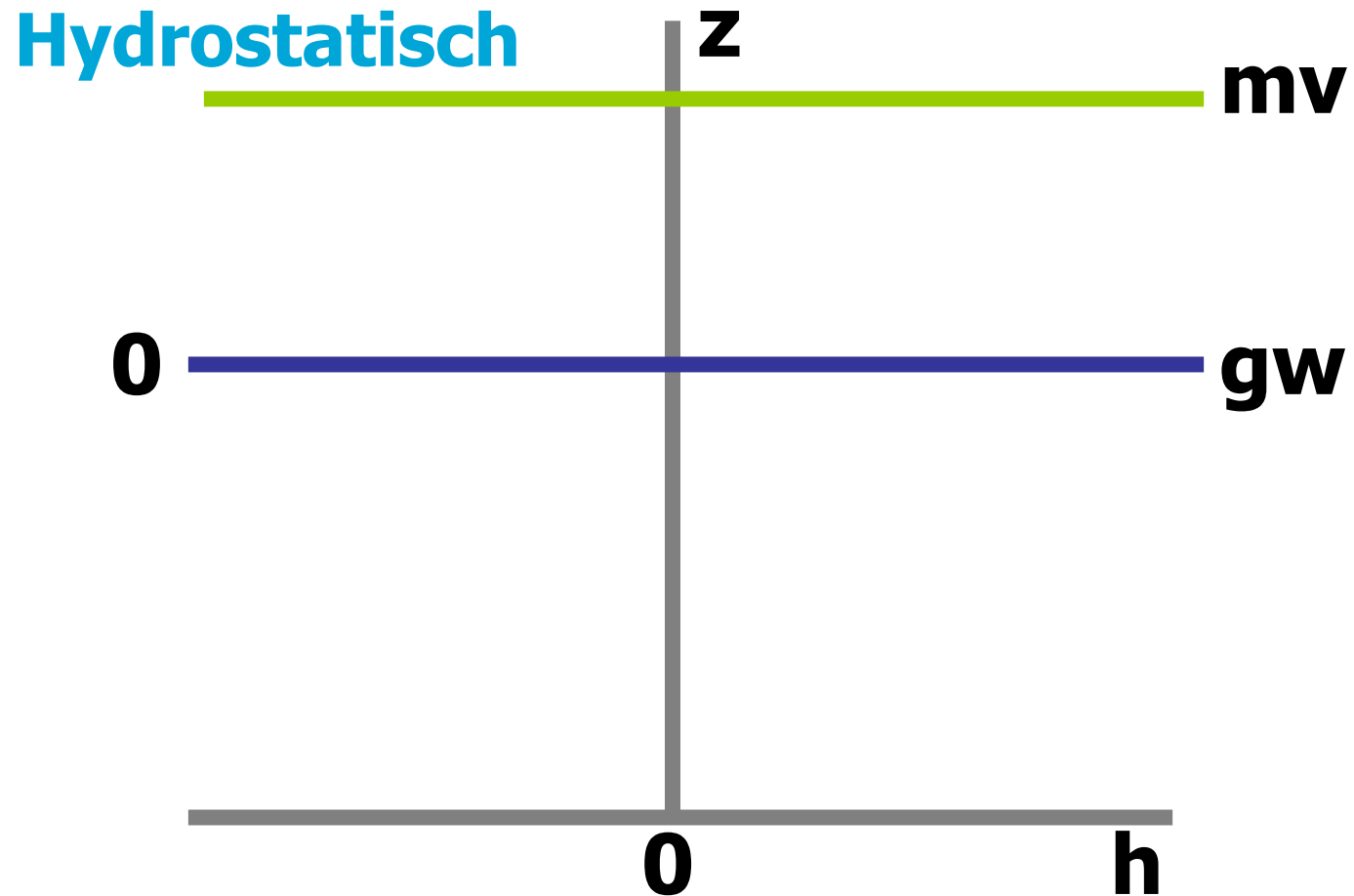
$$h_{tot} = h_g + h_d + h_m + h_{ex} + (h_o + \dots)$$

$$h_g = z$$

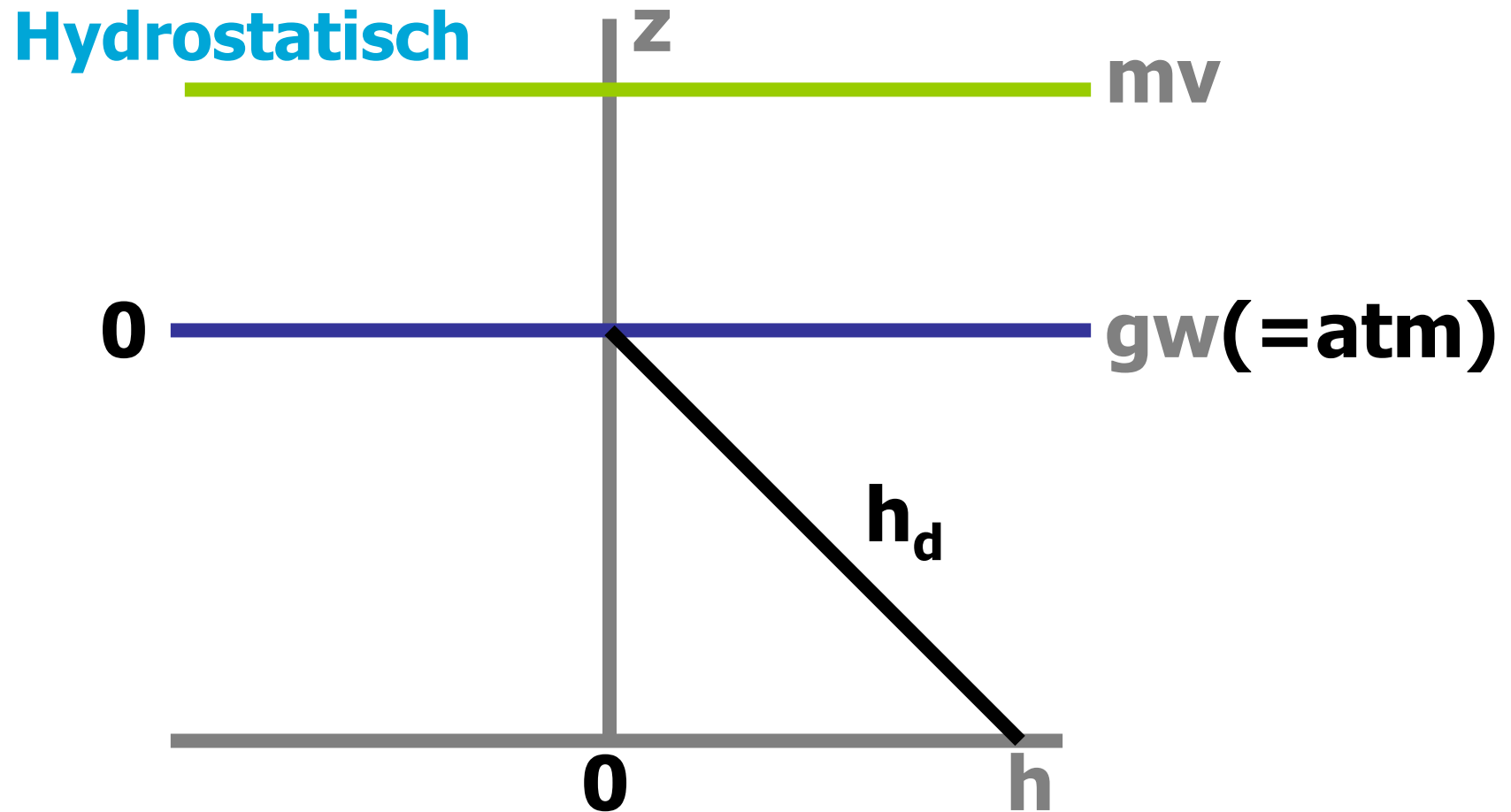
$$h_d = P / \rho \cdot g \quad (= D - z, \text{ hydrostatisch})$$

$$h_{ex} = 0 \quad (\text{atmosferisch})$$

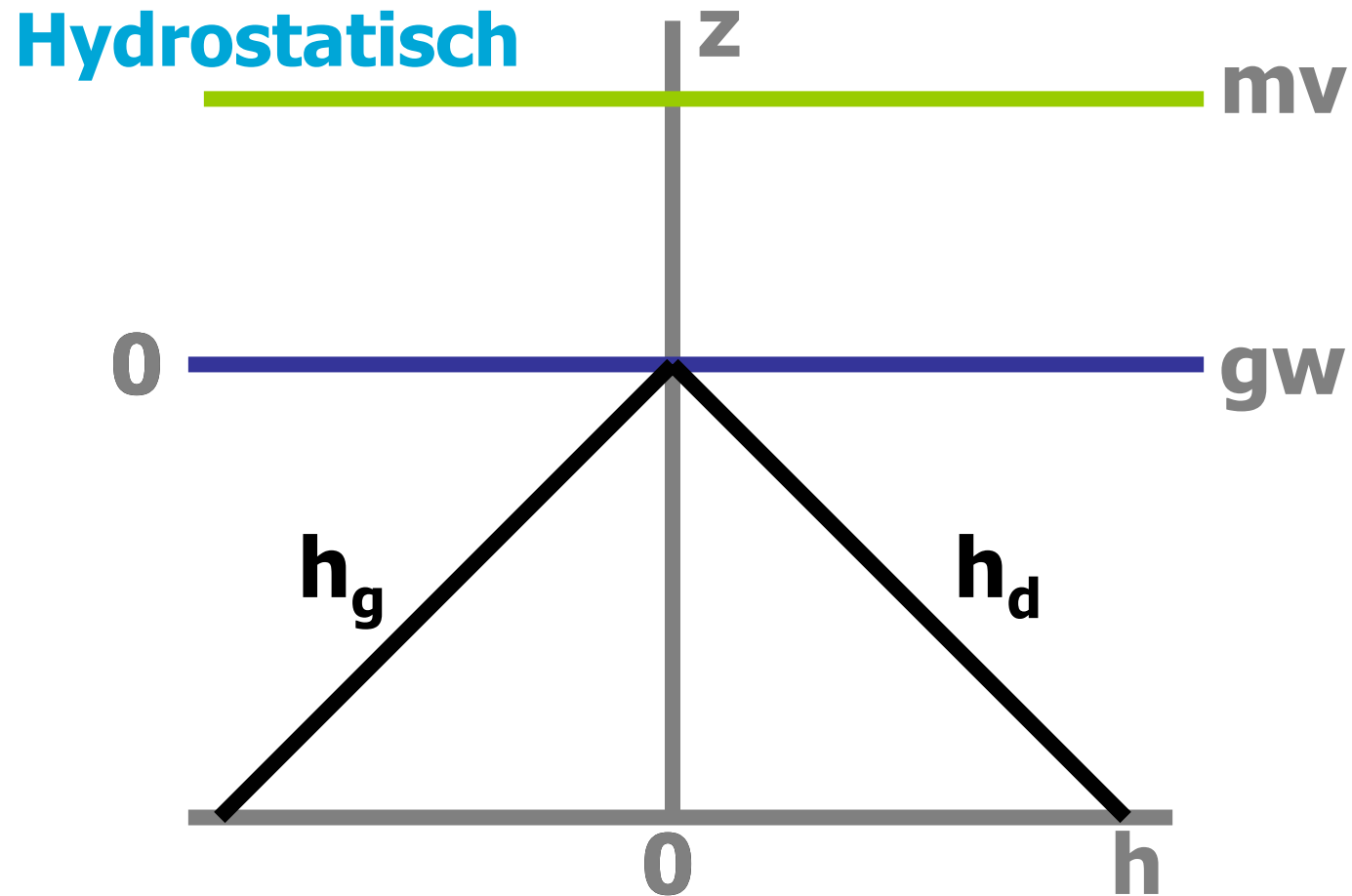
## 2 Potentiaal



## 2 Potentiaal

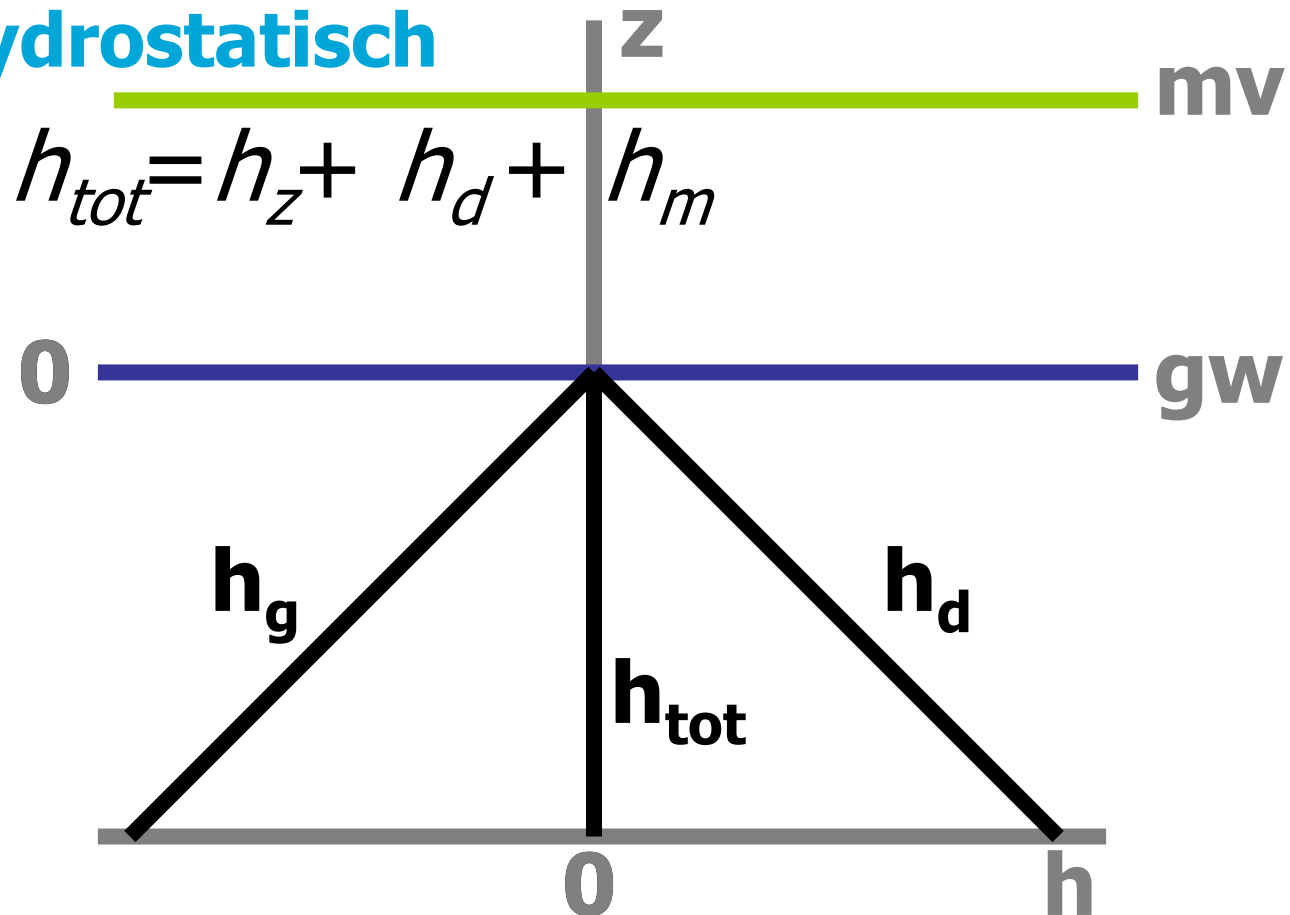


## 2 Potentiaal

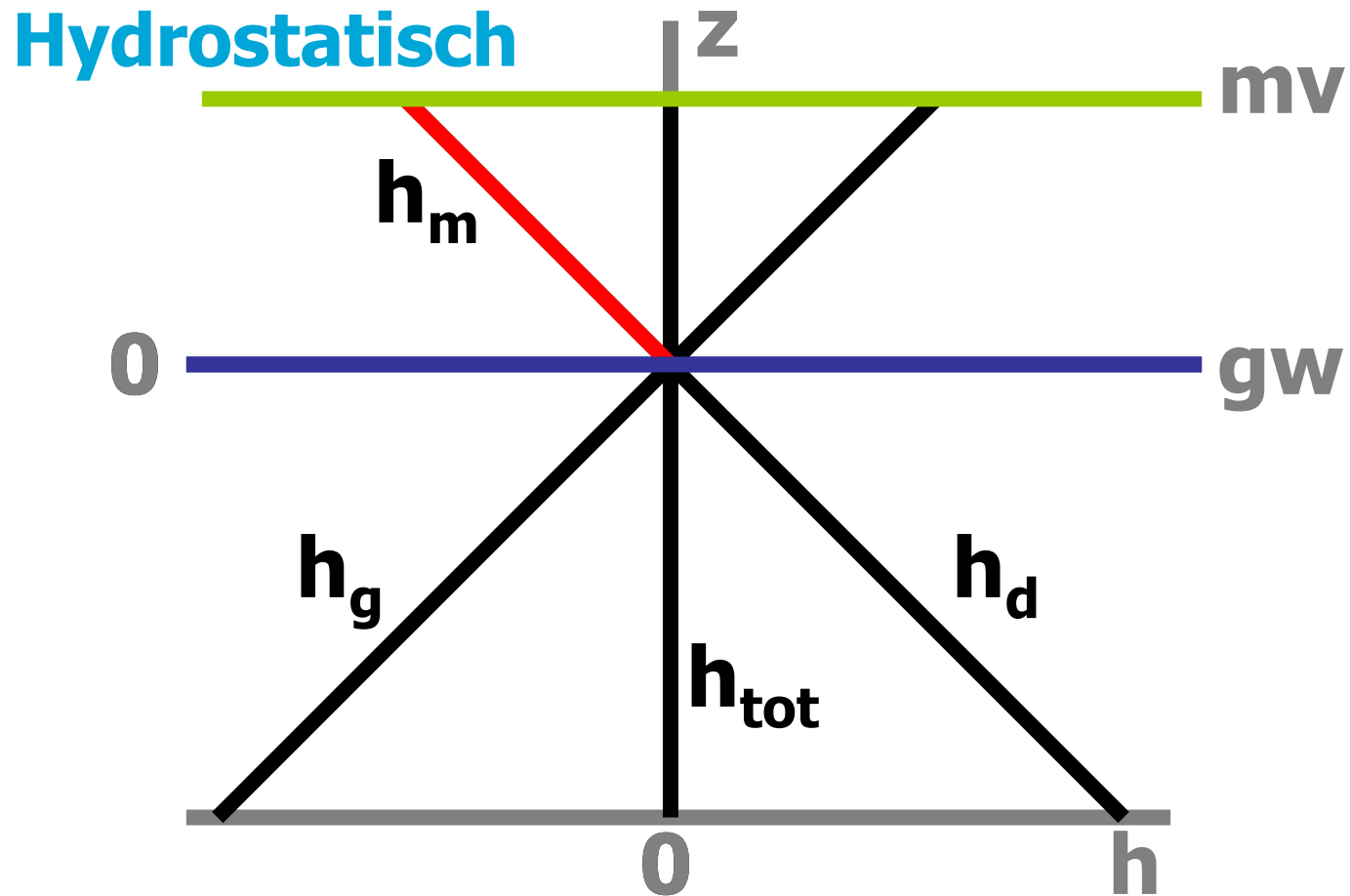


## 2 Potentiaal

Hydrostatisch



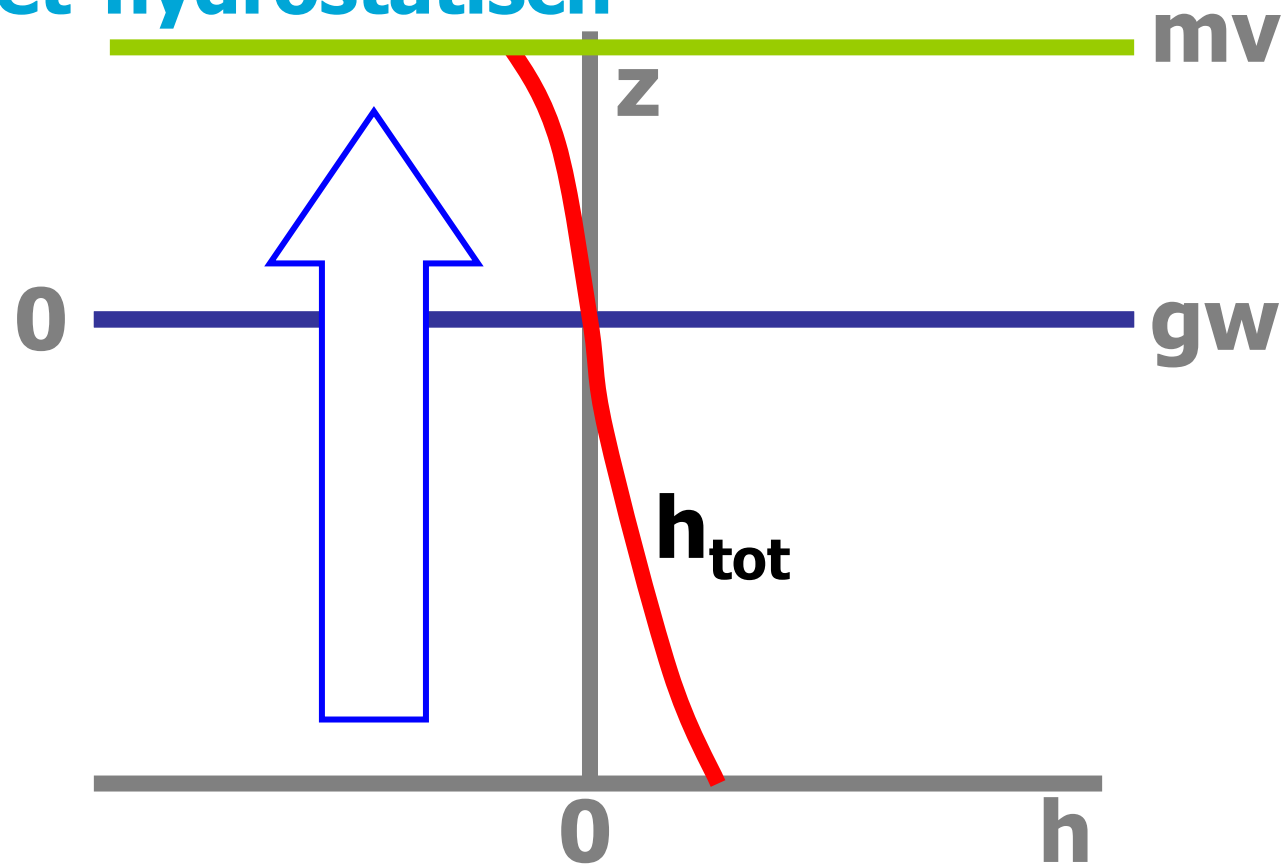
## 2 Potentiaal





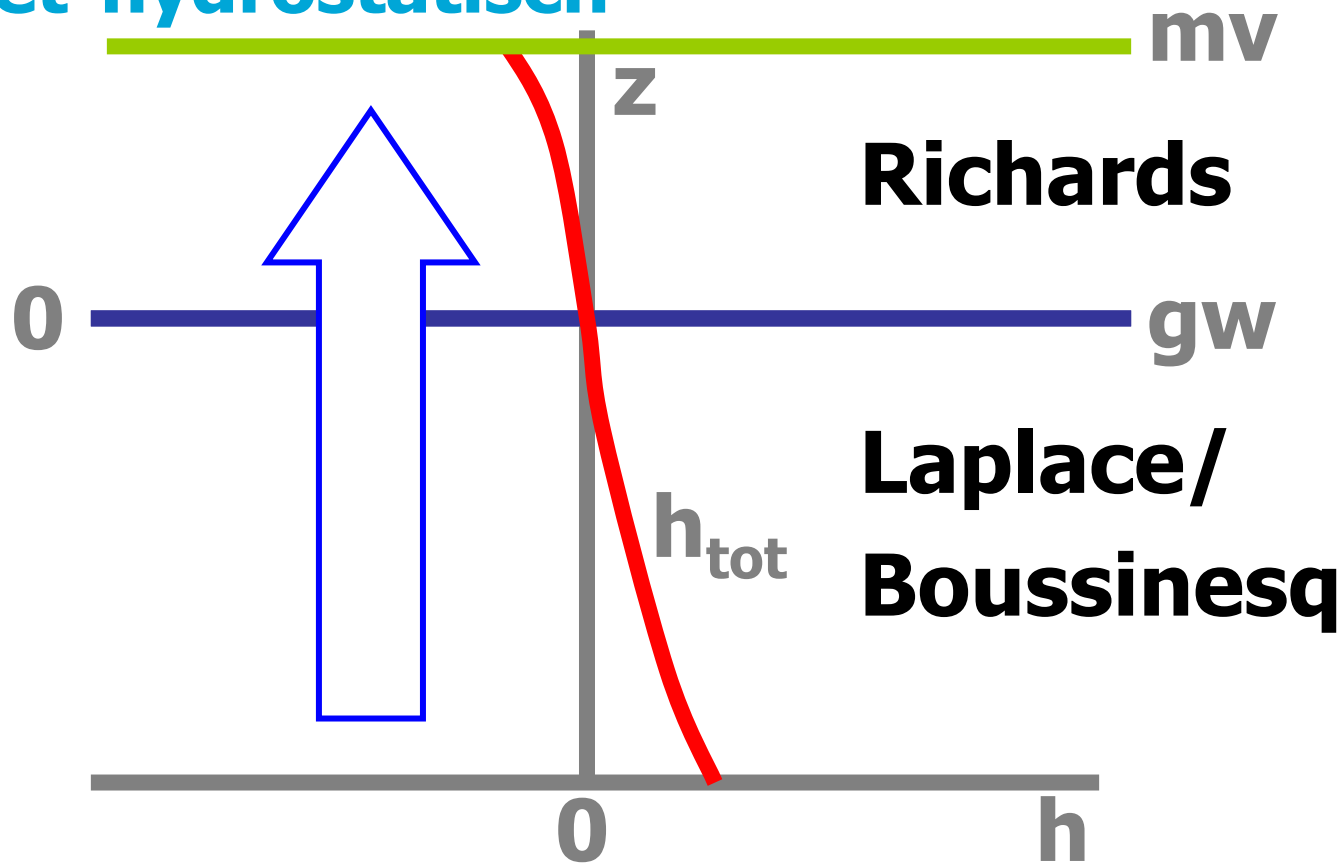
## 2 Potentialiaal

Niet-hydrostatisch



## 2 Potentiaal

Niet-hydrostatisch



# 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

## Water in de bodem:

1. Wateroverlast in de stad

2. Potentiaal

**3. Darcy  $\Rightarrow$  Laplace  $\Rightarrow$  Boussinesq**

4. Drainage formules

5. Een droog huis

### 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

**Darcy+Continuiteit=Laplace**

Darcy-Laplace=Continuiteit?

**Euler (vs Lagrange)**

**B**

### 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

#### Laplace

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

$$\nabla^2 h = 0$$

### 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

#### Laplace

$$\nabla^2 h = 0$$

- **Waar Ks?**
- **Waar is tijd?**



### 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

#### Laplace

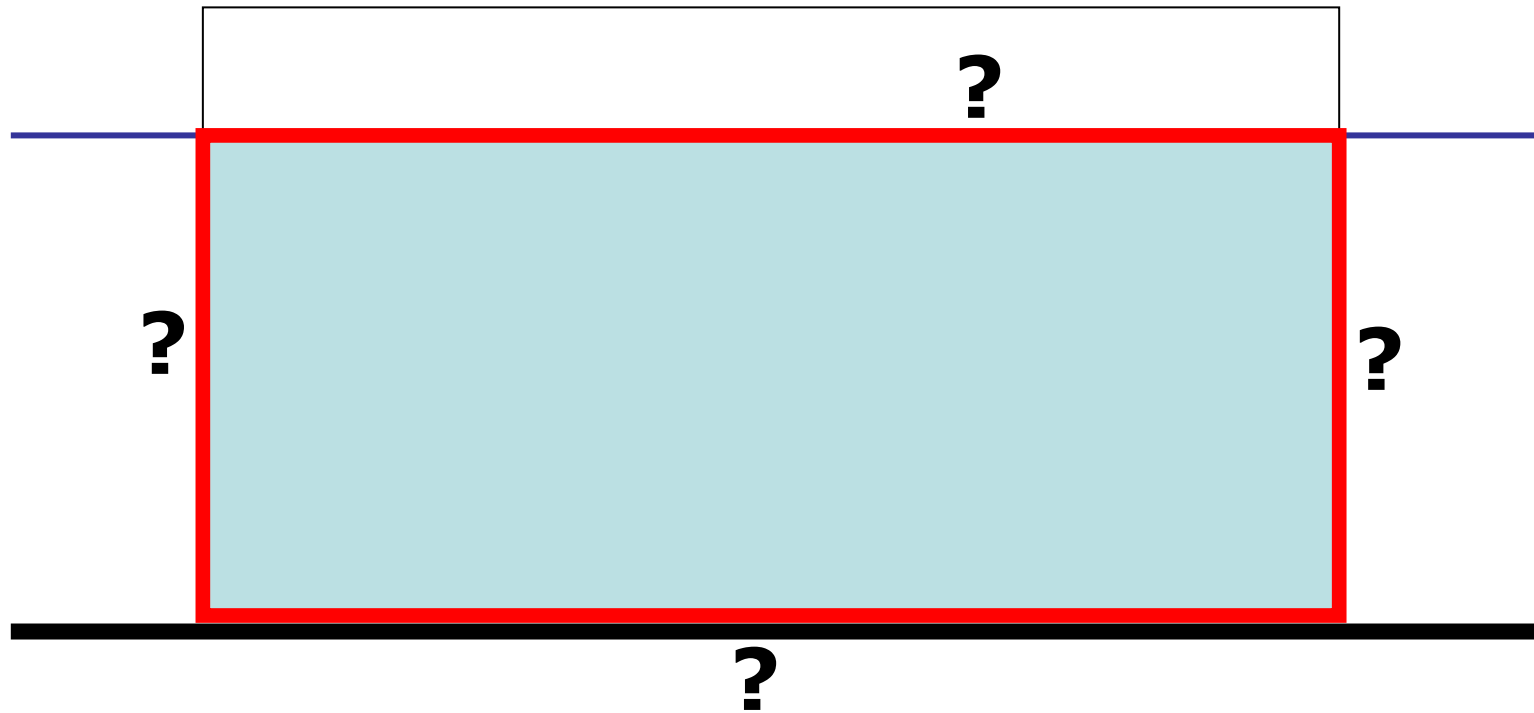
$$\nabla^2 h = 0$$

- **Waar Ks?**
- **Waar is tijd?**

#### Randvoorwaarde probleem

### 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

#### Laplace randvoorwaarden





### 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

#### Laplace 2D

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = -\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}$$

$$e^x * \left\{ \begin{array}{l} \sin y \\ \cos y \end{array} \right. \text{ of } \left. \begin{array}{l} \sin x \\ \cos x \end{array} \right\} * e^y$$

### 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

#### Laplace 2D

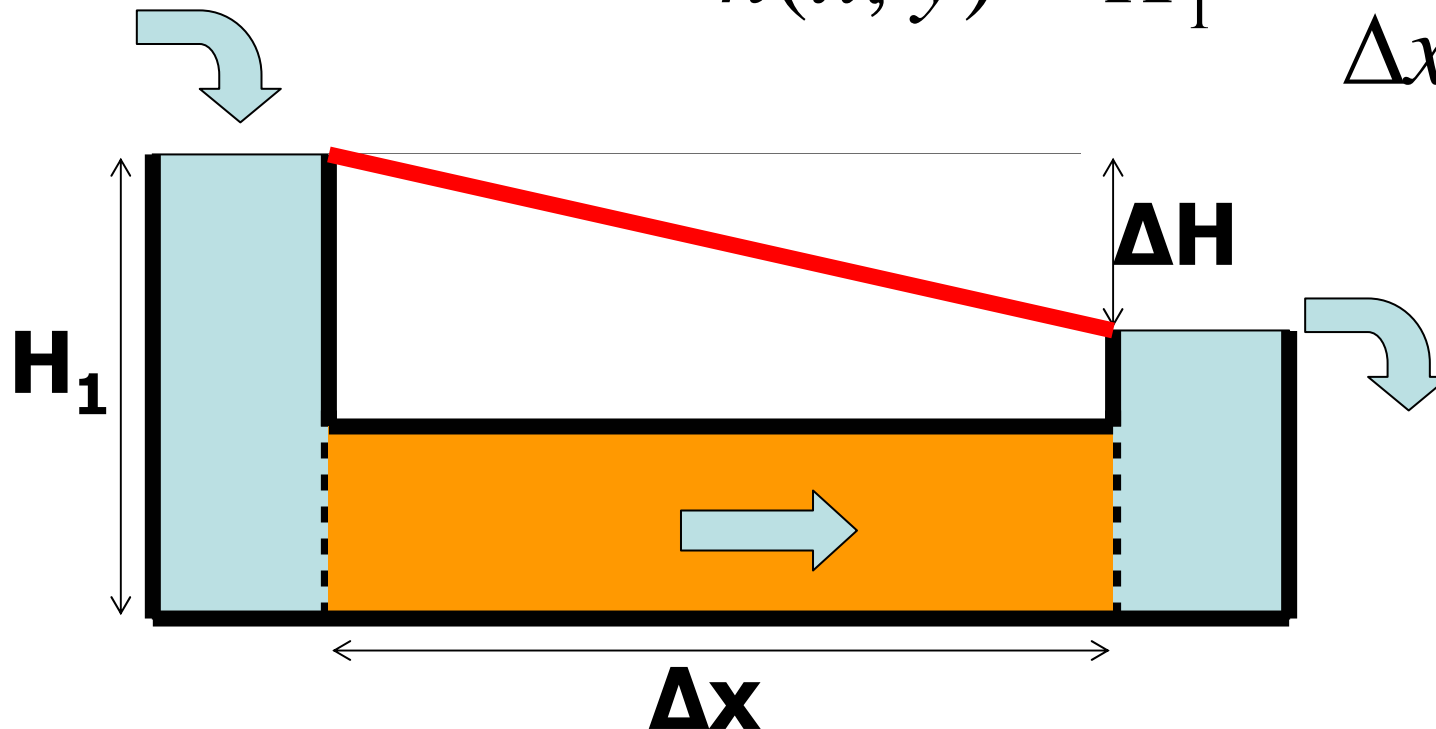
$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = - \frac{\partial^2 h}{\partial y^2}$$

$$h(x, y) = \sum A_n \sin nx \cdot e^{ny} + \dots$$
$$+ B \cdot x + C \cdot y + D$$

### 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

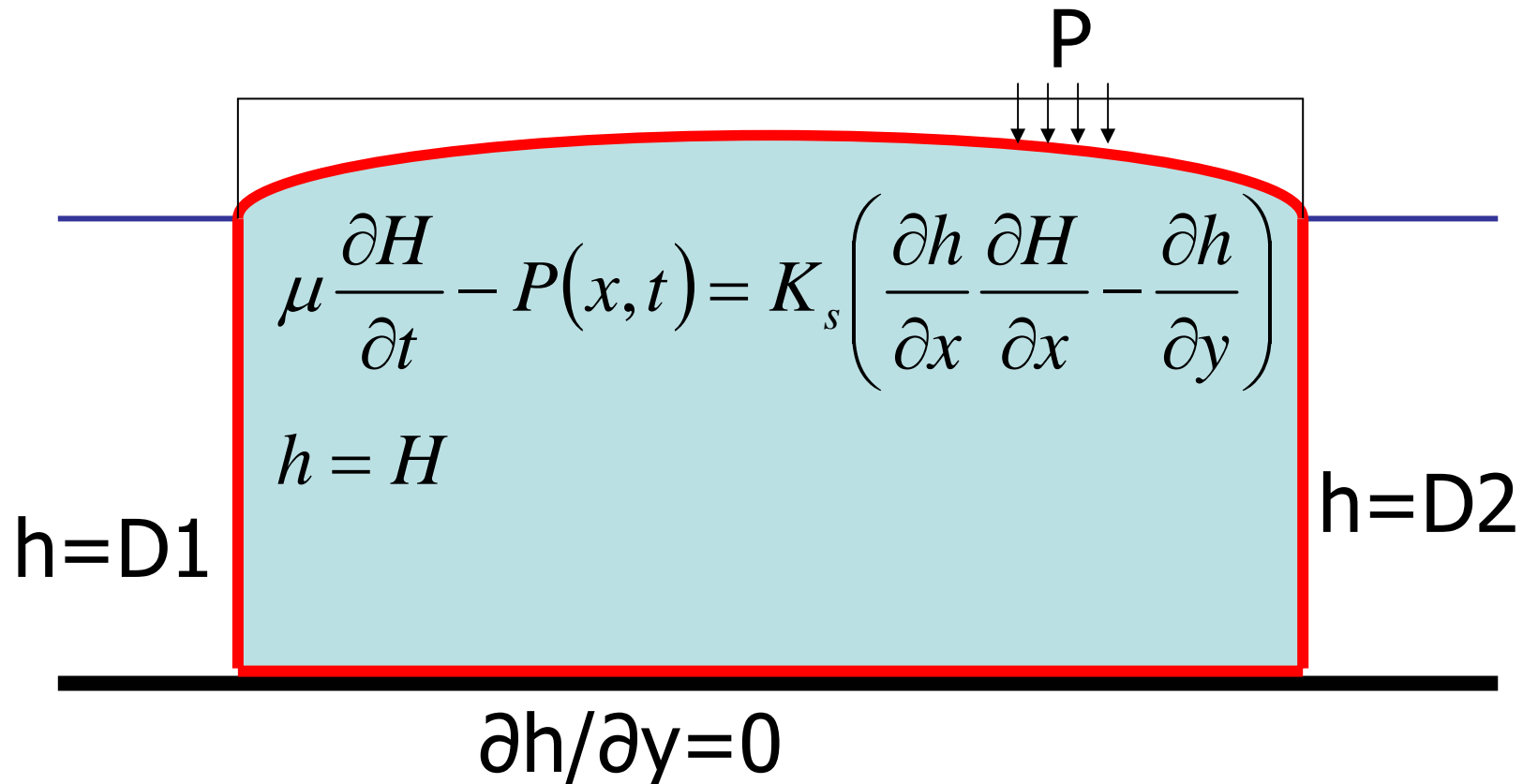
#### Laplace 2D

$$h(x, y) = H_1 - \frac{\Delta H}{\Delta x} \cdot x$$



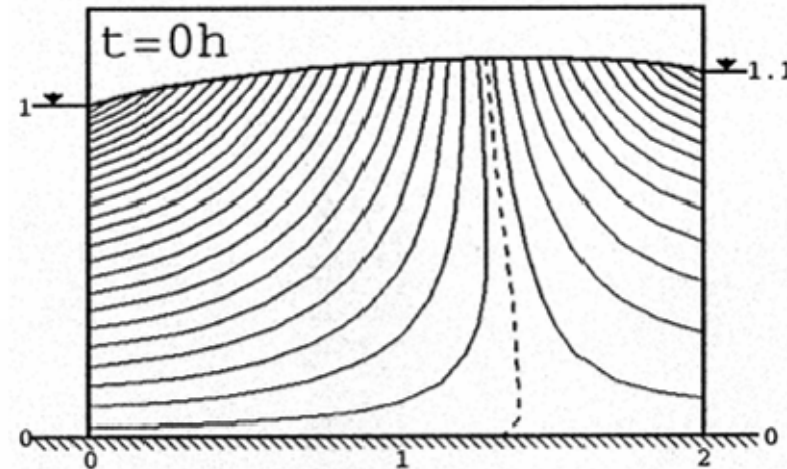
### 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

#### Laplace - Vrije randvoorwaarde!



### 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

#### Laplace 2D



$$\varphi(x, y, t) = D + \frac{h_L - h_0}{L} x +$$

$$\sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{4PL}{Kn^2\pi^2} \exp\left(-\frac{K}{\mu} \tanh\left(\frac{n\pi D}{L}\right) \frac{n\pi}{L} t\right) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \frac{\cosh\left(\frac{n\pi y}{L}\right)}{\sinh\left(\frac{n\pi D}{L}\right)}$$

### 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

#### Laplace numeriek:

- **Finite difference**
- **Boundary elements**
- **Finite elements**

**MODFLOW**



### 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

**Dupuit aanname:**

**Verticale verdeling potentiaal**

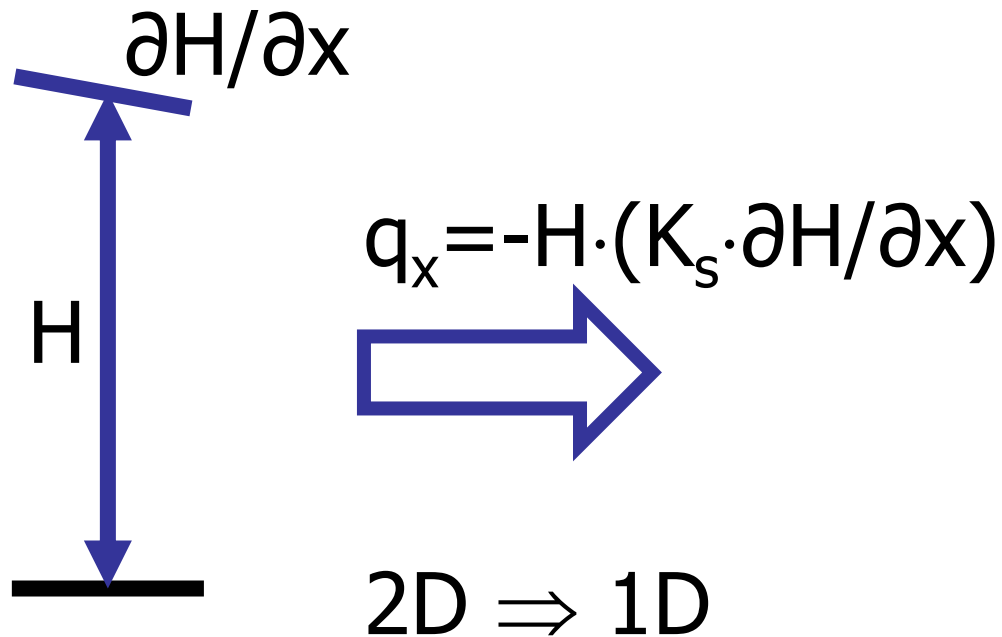
**$\approx$**

**Hydrostatisch**

**Verticale energie verliezen zijn  
verwaarloosbaar tov horizontale energie  
verliezen.**

### 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

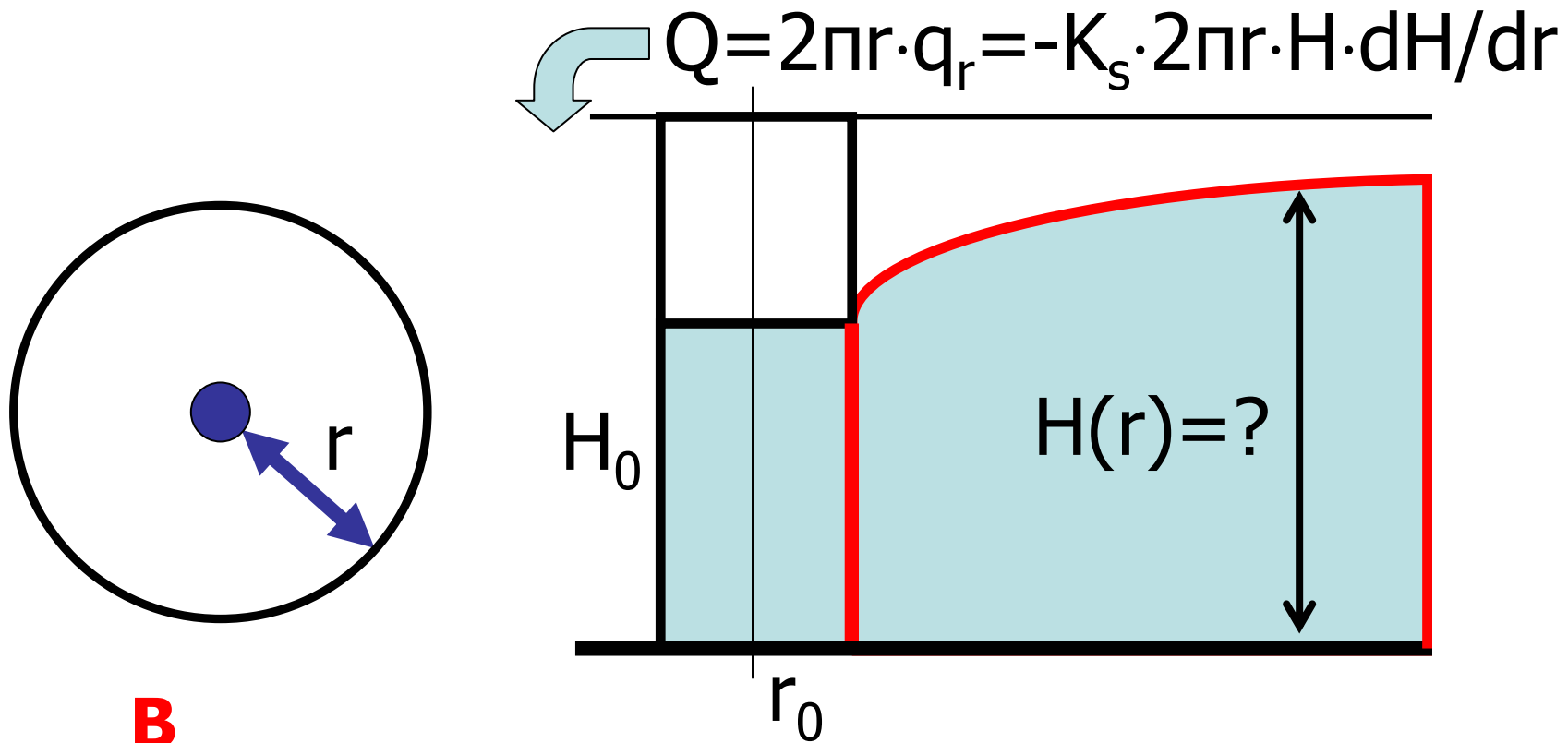
Dupuit aanname:





### 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

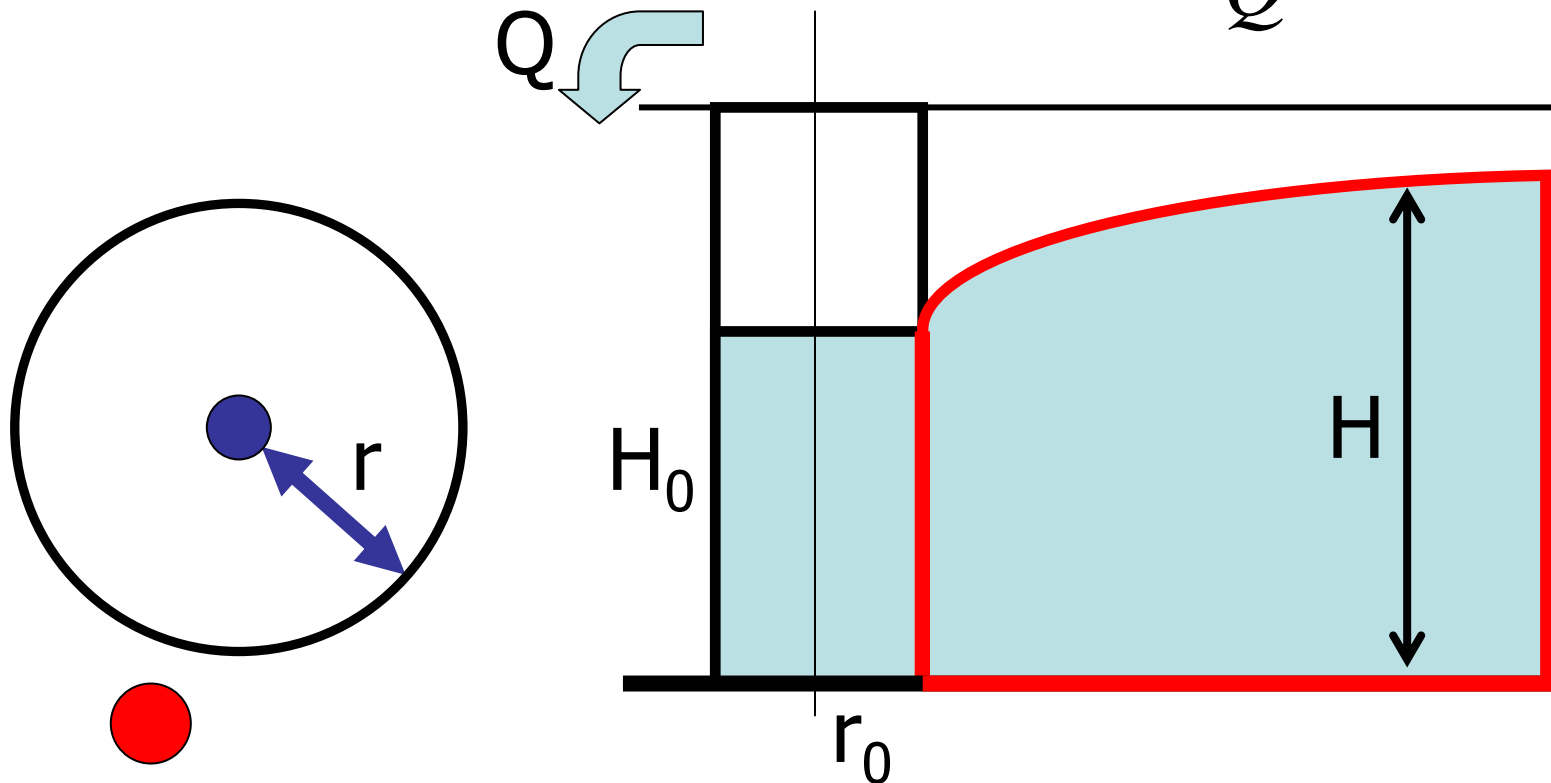
#### Stroming naar put



**B**

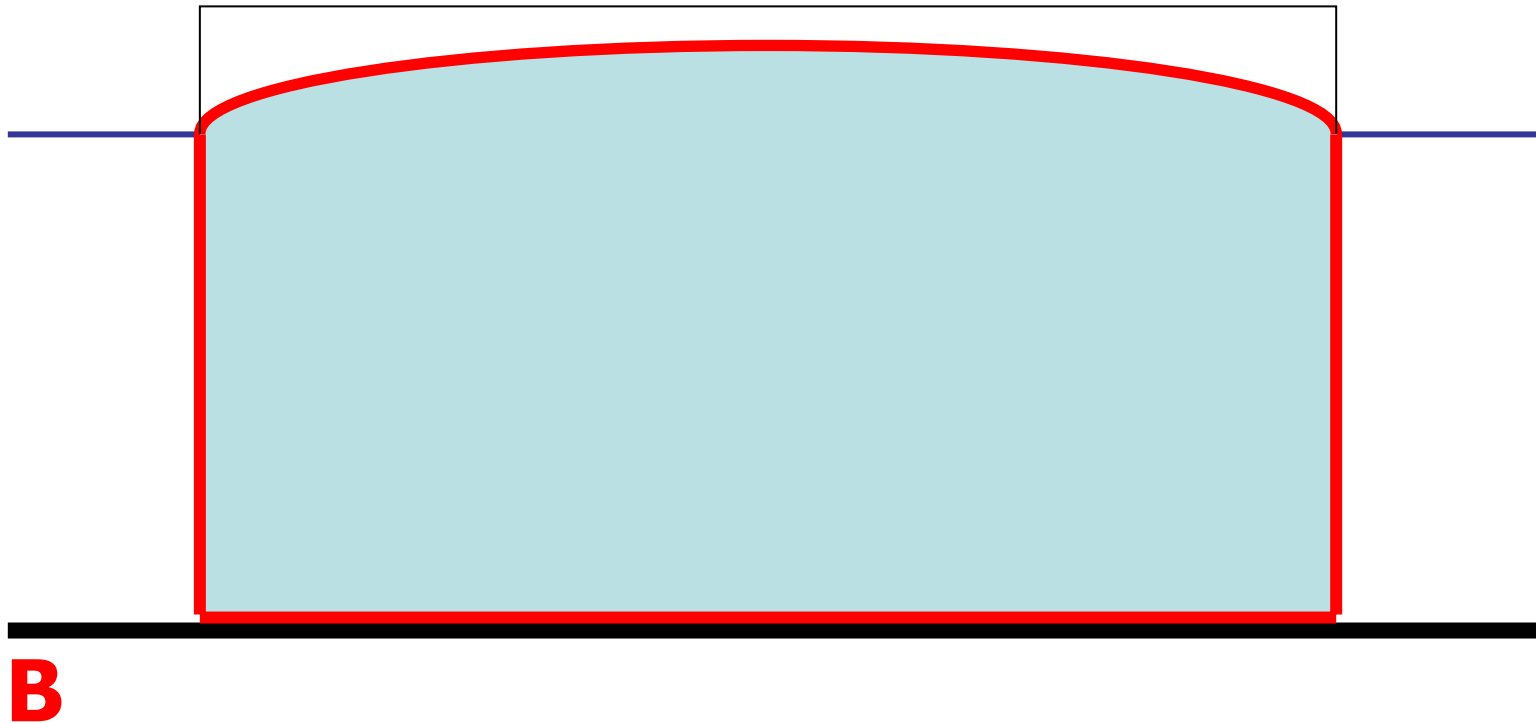
### 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

Stroming naar put  $\ln(r/r_0) = \frac{-\pi K_s}{Q} (H^2 - H_0^2)$



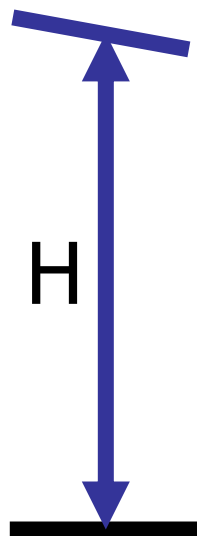
### 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

**Boussinesq=Laplace+Dupuit**



### 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

**Boussinesq:**



The diagram shows a vertical blue double-headed arrow representing the height  $H$  of a water column. The top boundary is a thin blue horizontal line, and the bottom boundary is a thick black horizontal line. The letter  $H$  is placed to the left of the arrow.

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{P}{\mu} + \frac{1}{2} \frac{K_s}{\mu} \left( \frac{\partial^2 H^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H^2}{\partial y^2} \right)$$

### 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

**Boussinesq: Ça suffit!**

**Numerieke oplossing**

**Rolf Hut, Naziema Joeman, Niels Vergeer:**

**Zanddammen**

# 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

## Zanddammen

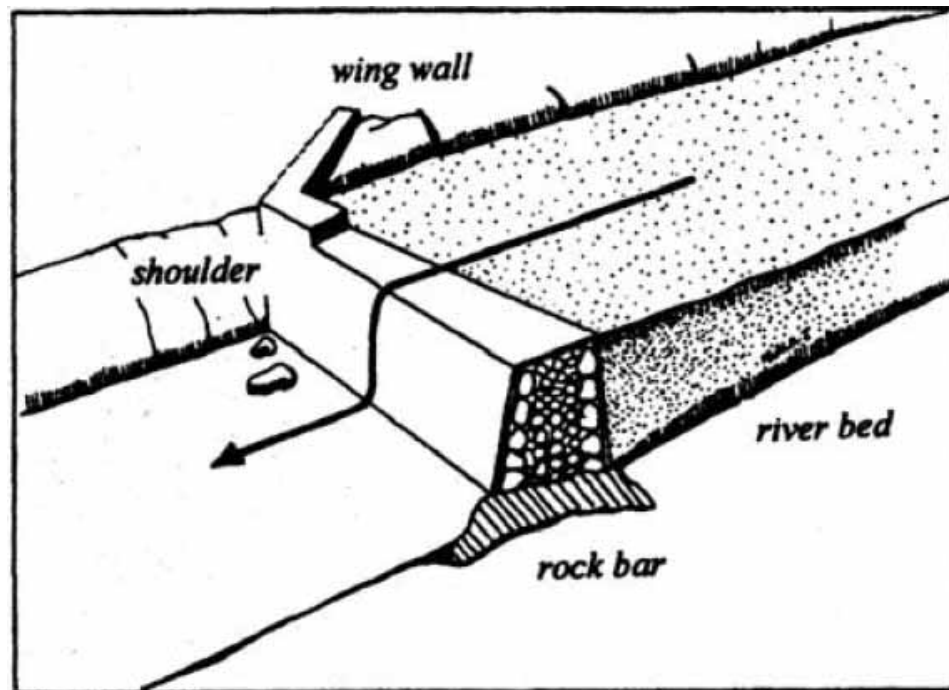


**Rolf Hut, Naziema Joeman en Niels Vergeer**

**CT3011 2: Water in de bodem**

# 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

## Zanddammen



Rolf Hut, Naziema Joeman en Niels Vergeer

### 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

## Zanddammen



1 day after rain



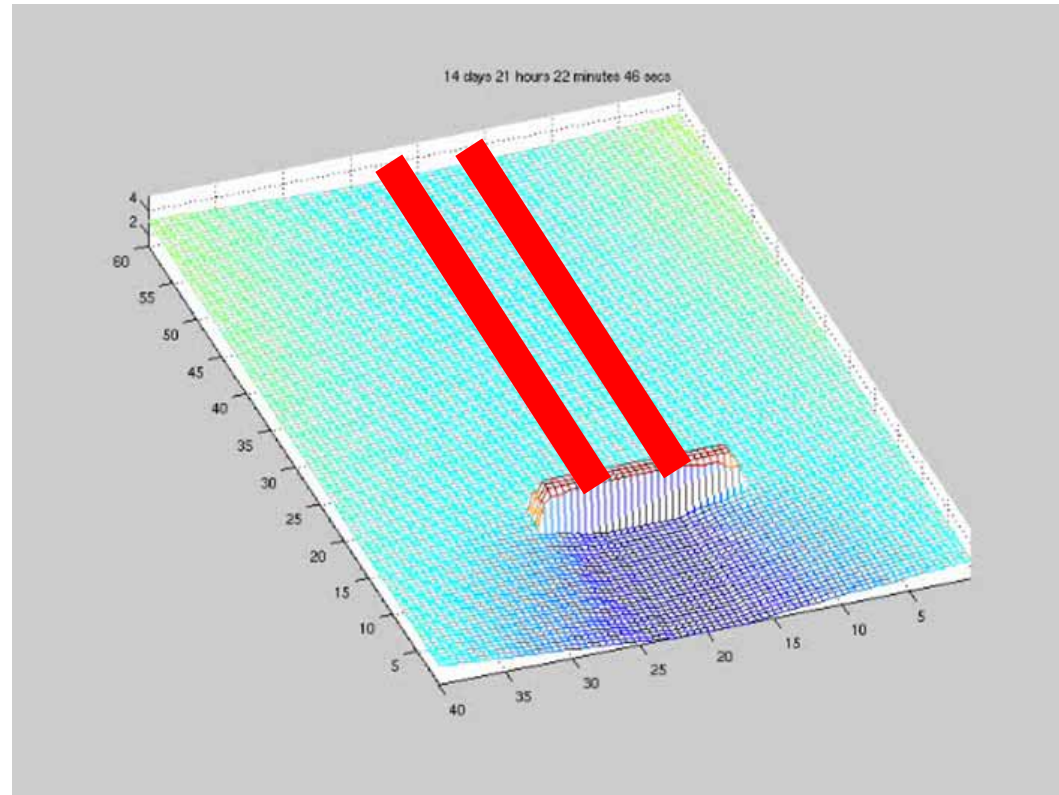
3 weeks after rain

**Rolf Hut, Naziema Joeman en Niels Vergeer**



# 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

## Zanddammen

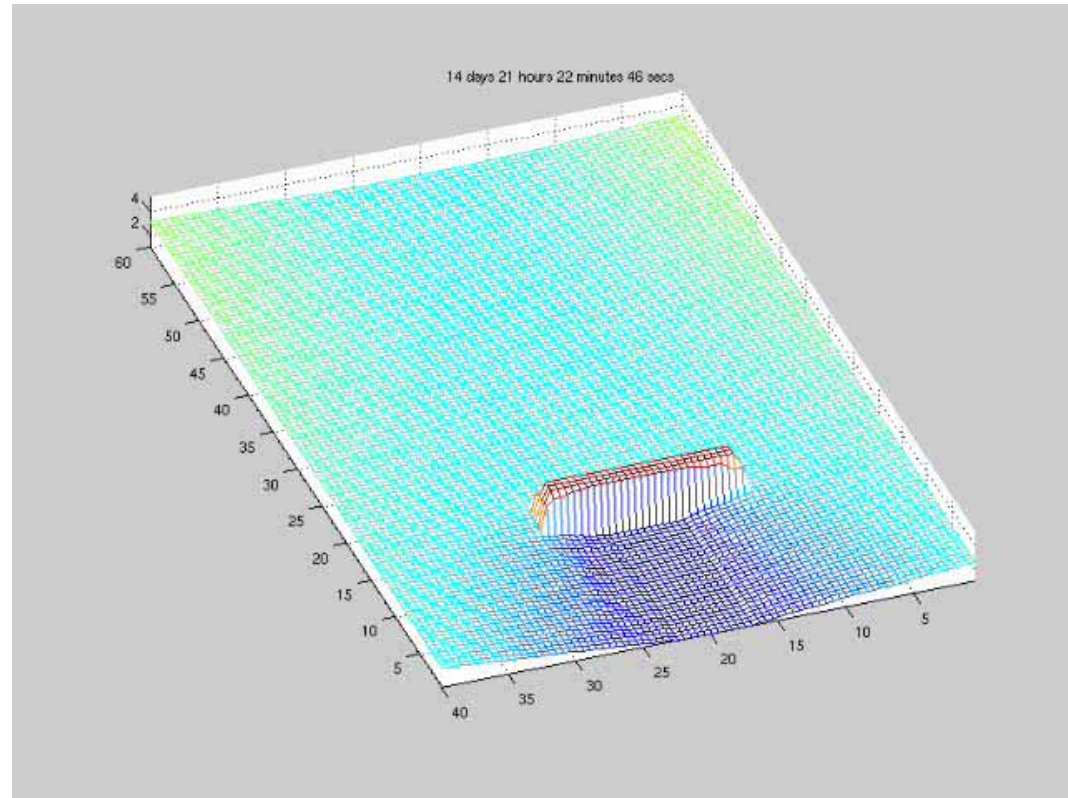


Rolf Hut, Naziema Joeman en Niels Vergeer

CT3011 2: Water in de bodem

# 3 Darcy $\Rightarrow$ Laplace $\Rightarrow$ Boussinesq

## Zanddammen



Rolf Hut, Naziema Joeman en Niels Vergeer

CT3011 2: Water in de bodem

# 4 Drainage formules

## Water in de bodem:

1. Wateroverlast in de stad
2. Potentiaal
3. Darcy  $\rightarrow$  Laplace  $\Rightarrow$  Boussinesq
- 4. Drainage formules**
5. Een droog huis

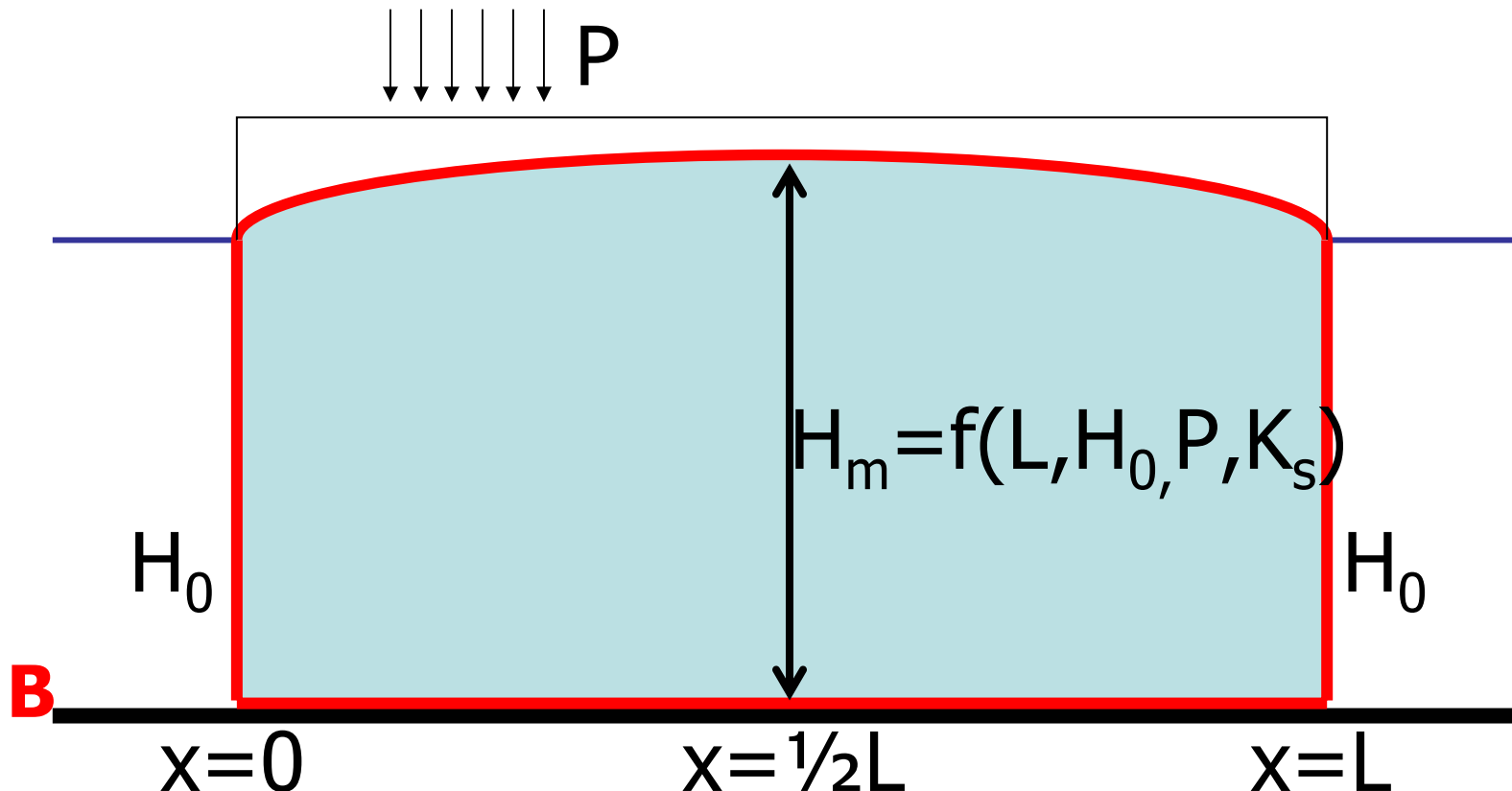
# 4 Drainage formules

- **Vele drainage formules**
- **Verschillende geometrieën**
- **Dynamisch/statisch**

## 4 Drainage formules

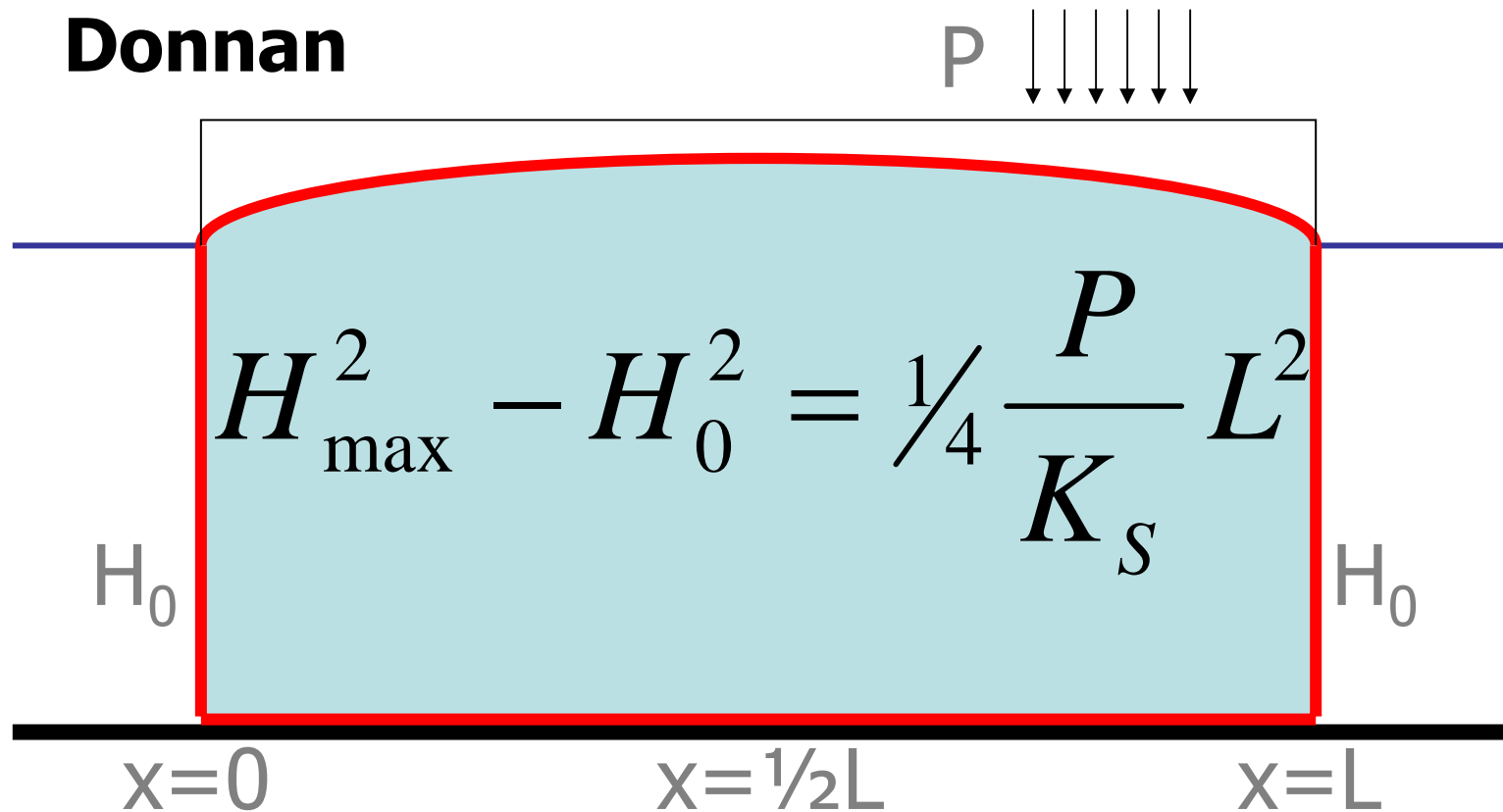
**Donnan**

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} = P + \frac{1}{2} K_s \left( \frac{\partial^2 H^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H^2}{\partial y^2} \right)$$

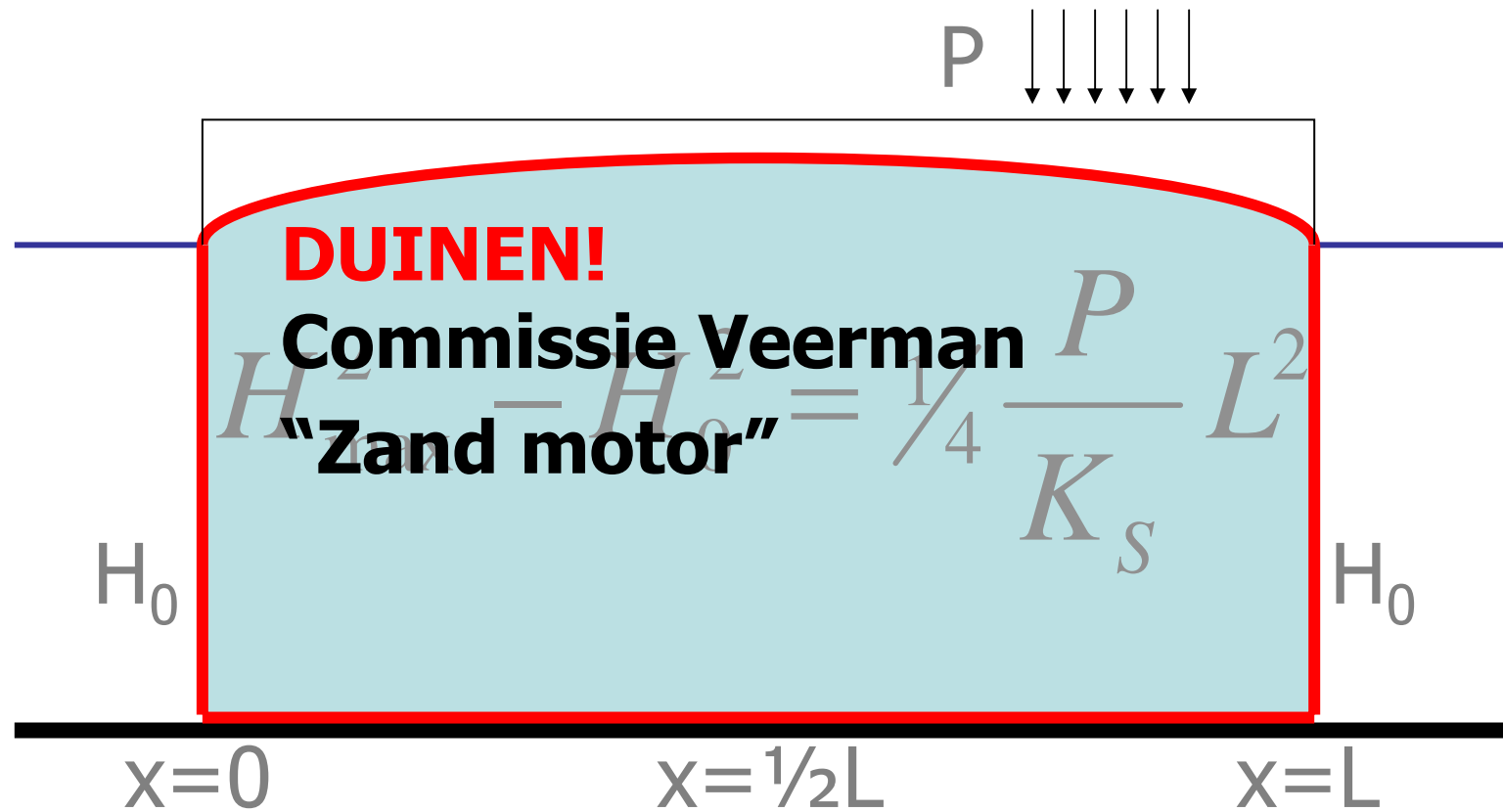


## 4 Drainage formules

**Donnan**

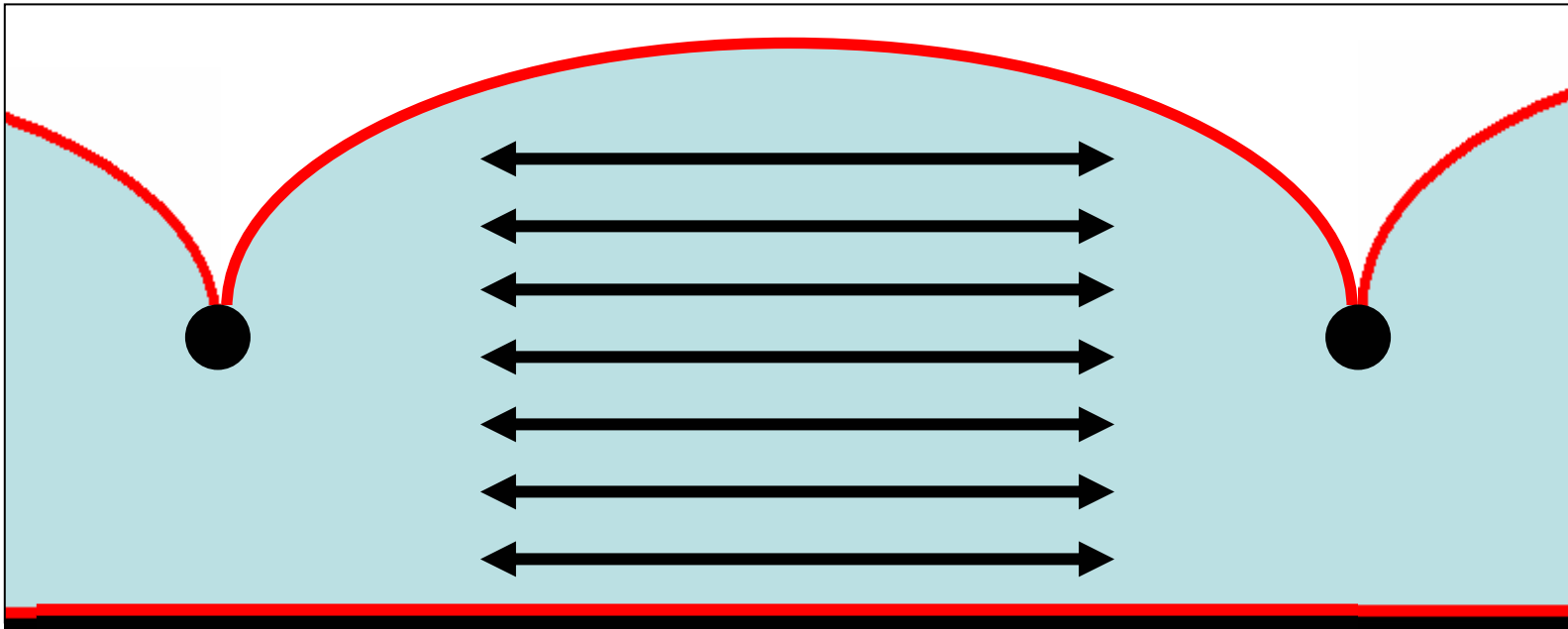


# 4 Drainage formules



# 4 Drainage formules

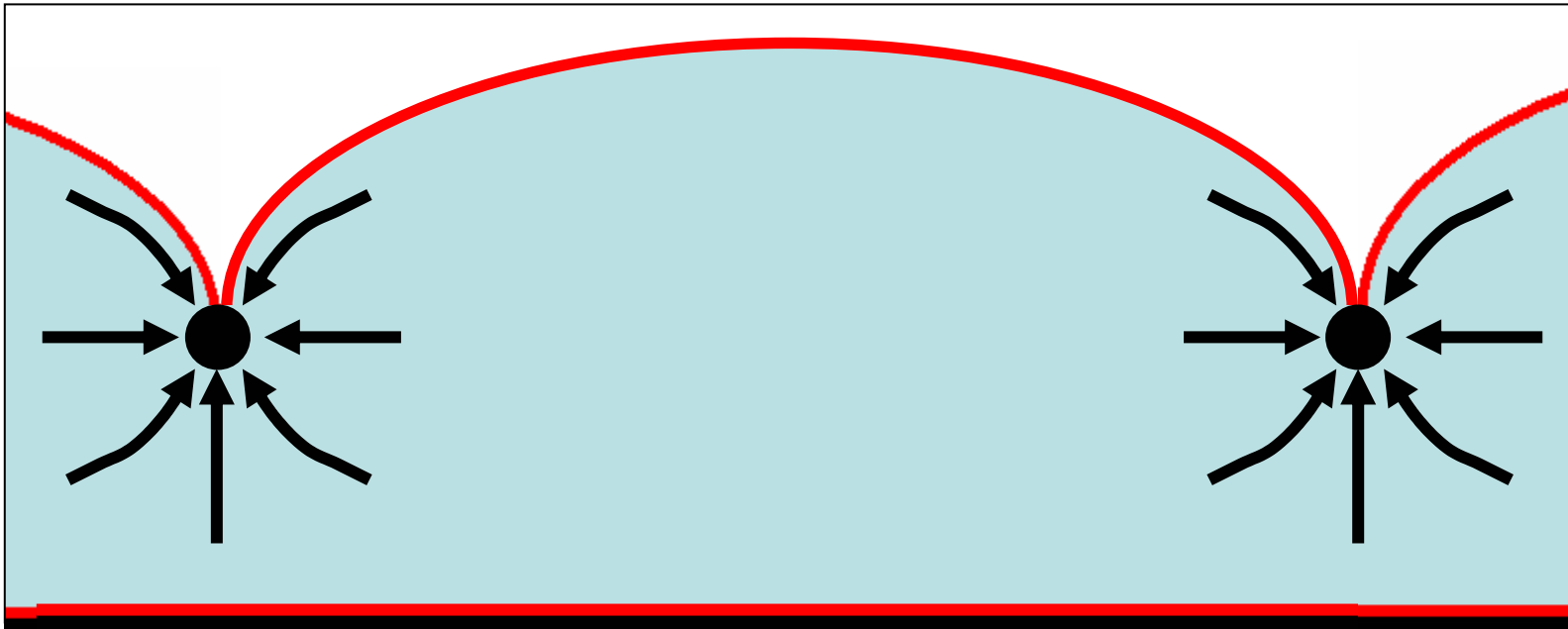
**Hooghoudt: tussen drains Donnan**





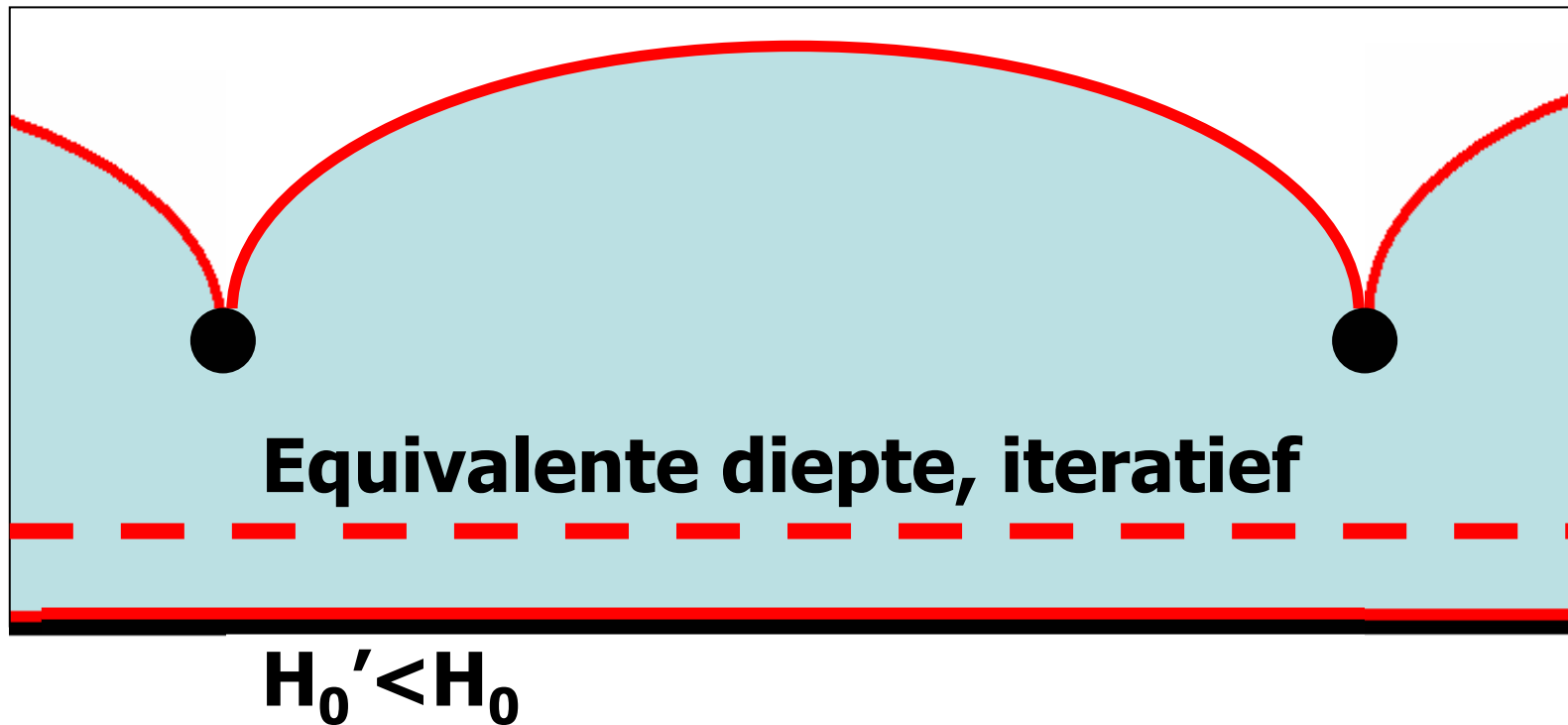
## 4 Drainage formules

**Hooghoudt: nabij drains put**



# 4 Drainage formules

**Hooghoudt:**



# 5 Een droog huis

## Water in de bodem:

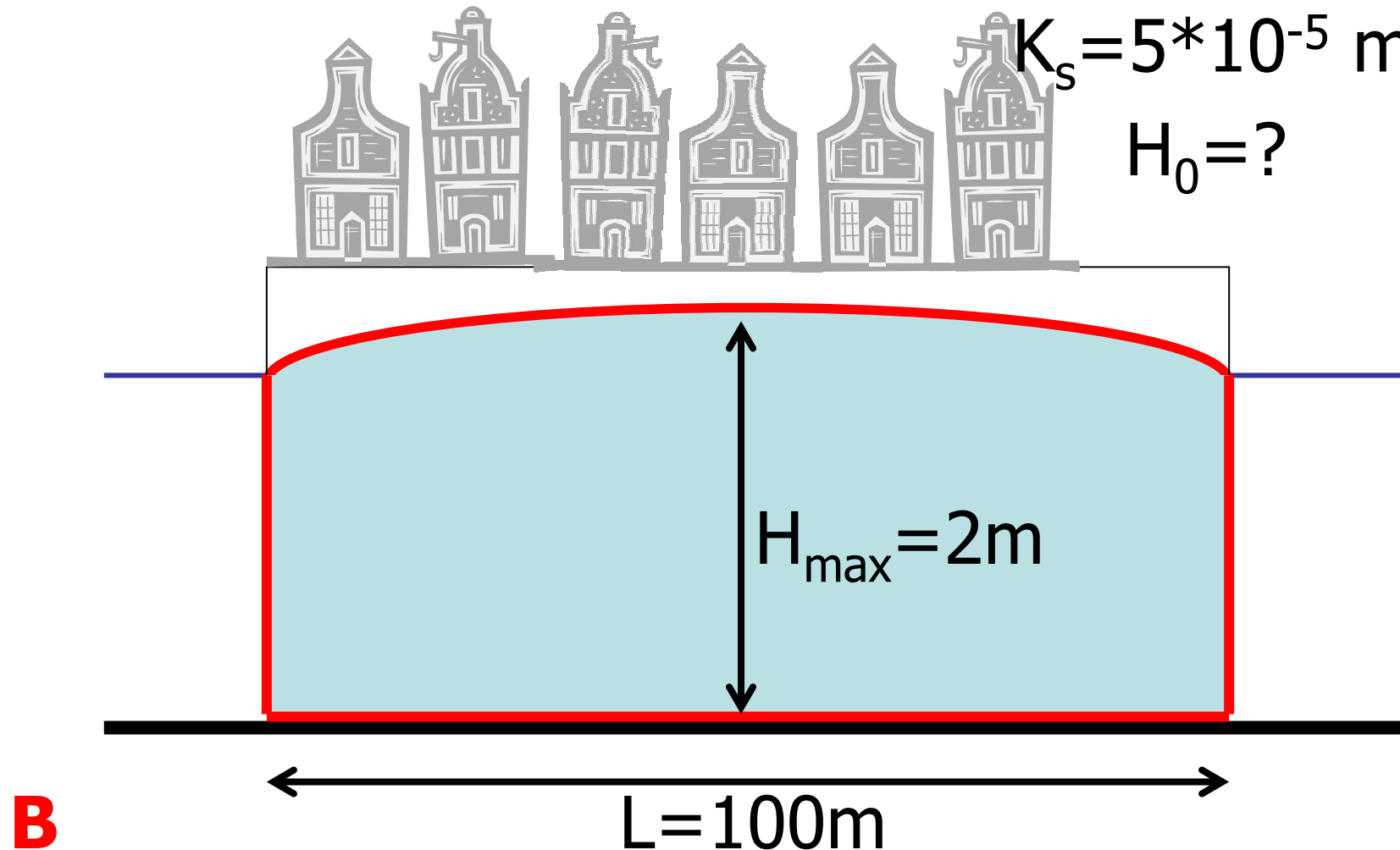
1. Wateroverlast in de stad
2. Potentiaal
3. Darcy  $\Rightarrow$  Laplace  $\Rightarrow$  Boussinesq
4. Drainage formules
- 5. Een droog huis**

## 5 Een droog huis

$$P = 150 \text{ mm/M}$$

$$K_s = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$H_0 = ?$$

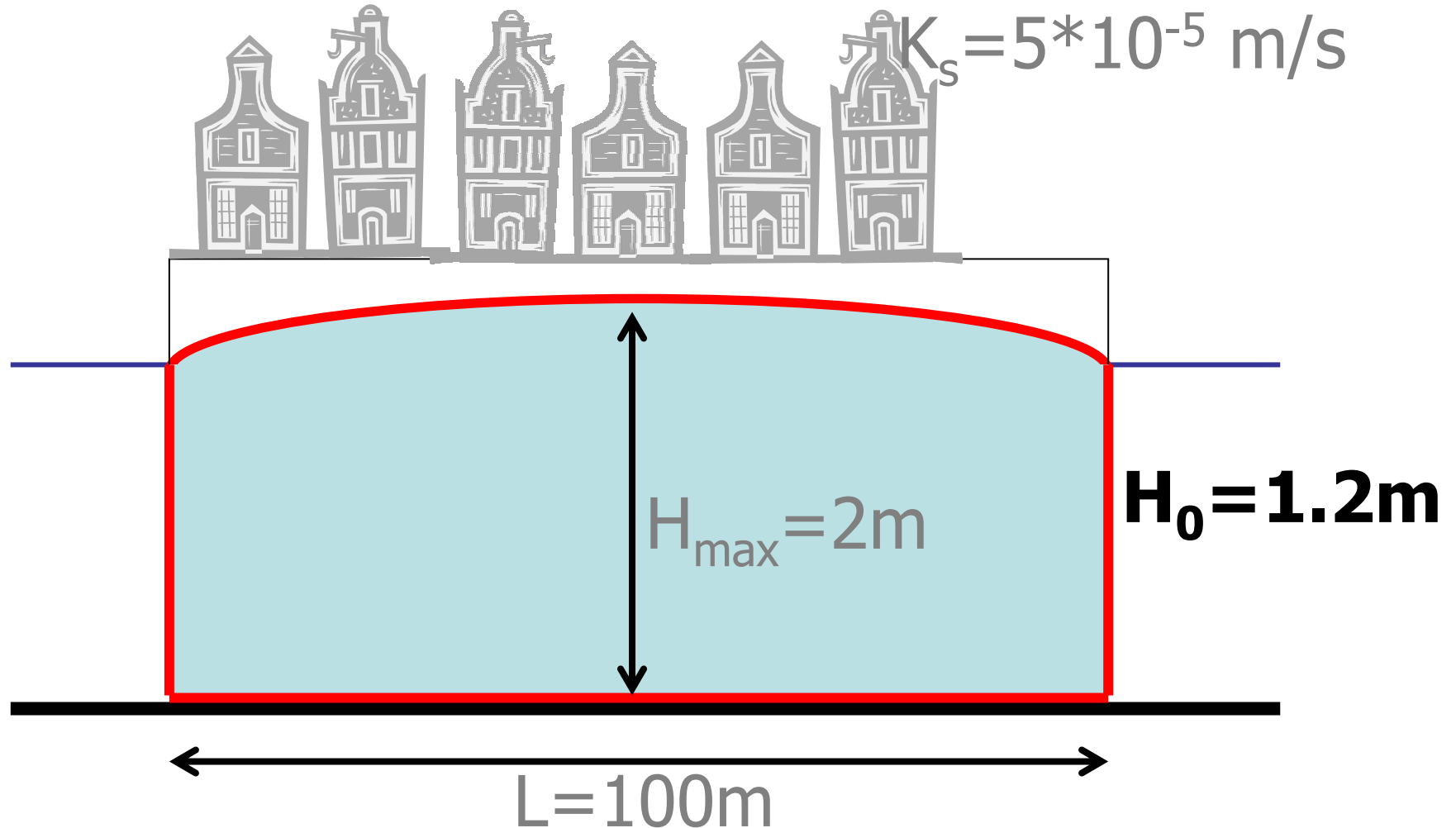


**B**

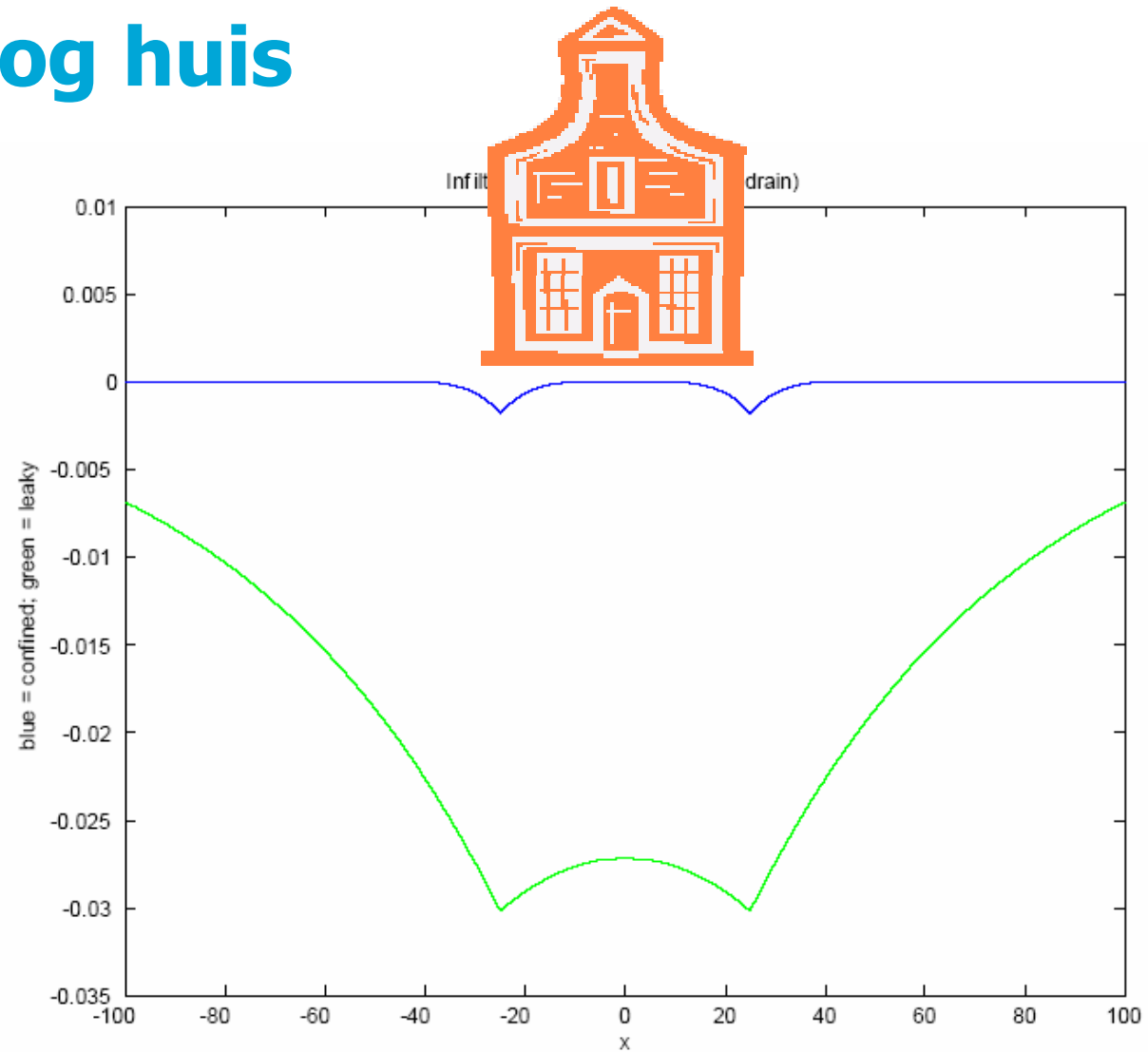
## 5 Een droog huis

$P=300\text{mm/m}$

$K_s=5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$

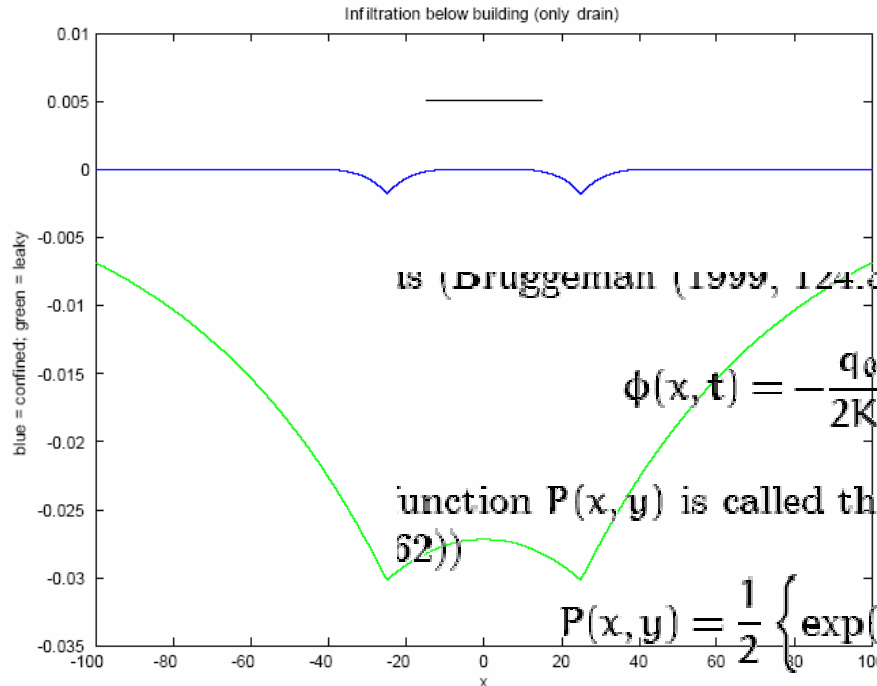


# 5 Een droog huis



# 5 Een droog huis

Leuk voor  
project of  
afstuderen...



$$\phi(x, t) = -\frac{q_0 \lambda}{2KD} P_{\text{conj}} \left( \frac{|x|}{2\lambda}, \sqrt{\eta t} \right), \quad \eta = \frac{1}{\beta^2 \lambda^2} = \frac{1}{cS},$$

unction  $P(x, y)$  is called the "Conjugate Polder Function" and is defined (52))

$$P(x, y) = \frac{1}{2} \left\{ \exp(2x) \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{y} + y \right) - \exp(-2x) \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{y} - y \right) \right\}.$$

add two such solutions (21), but now located at  $x = -W$  and  $x = W$ , res

$$\phi(x, t) = -\frac{q_0 \lambda}{2KD} \left\{ P_{\text{conj}} \left( \frac{|x+W|}{2\lambda}, \sqrt{\eta t} \right) + P_{\text{conj}} \left( \frac{|x-W|}{2\lambda}, \sqrt{\eta t} \right) \right\}$$

for the effect of  $p_0 = 0$ , and  $q_0 \neq 0$  for the confined and the leaky case

## 5 Een droog huis



Figuur 5: proefopstelling lab

Leuk voor project  
of afstuderen...

Stijn de Jong  
Jop Jansen  
Bachelor Eindwerk



## 5 Een droog huis

Leuk voor project  
of afstuderen...



Stijn de Jong  
Jop Jansen  
Bachelor Eindwerk