

# Hydrology (CT2310)

dr. M. Bakker

Lezing 'Geohydrologie: grondwaterproblemen'

# Geohydrologie, hoofdstuk 7

## CT 2310



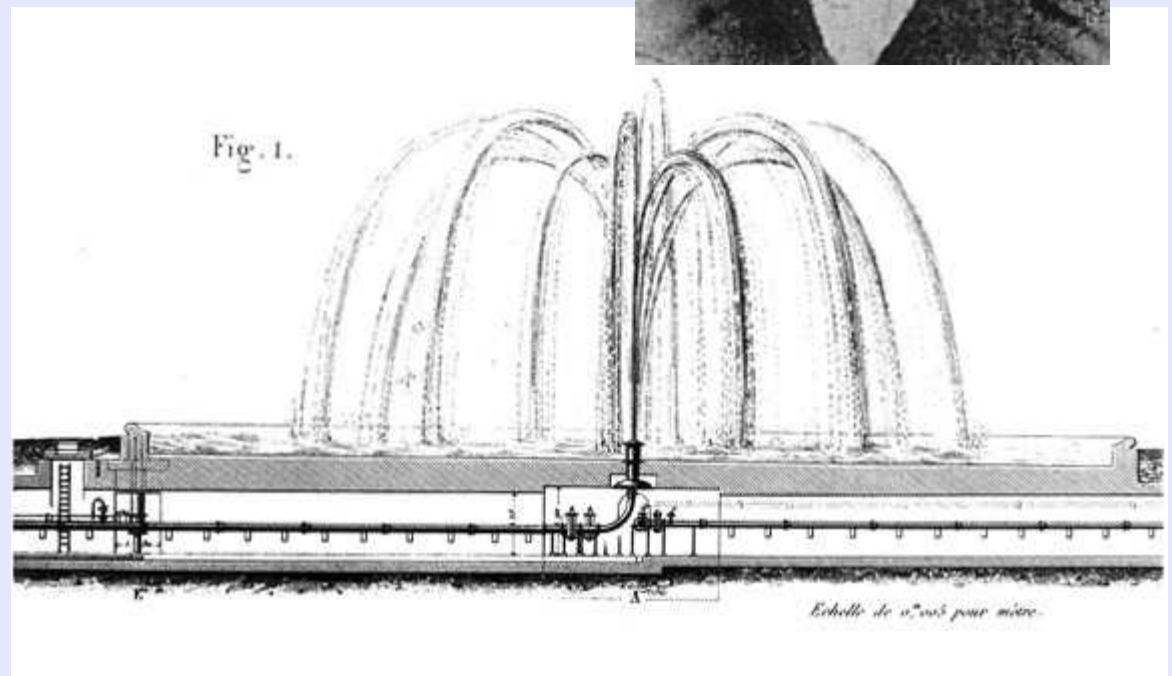
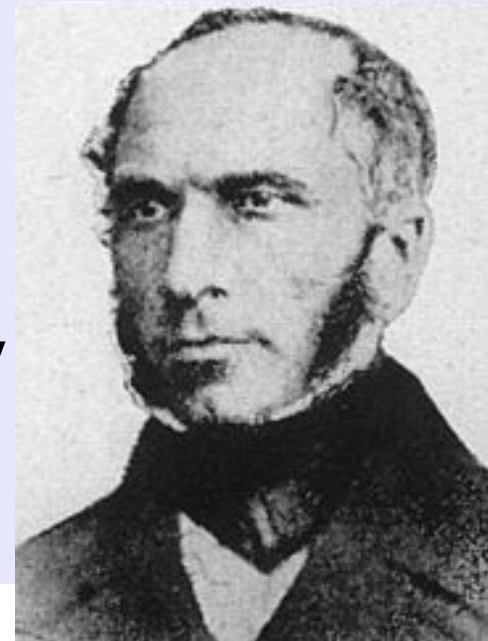
**Mark Bakker**

**Water Resources Section  
Civil Engineering, TU Delft  
mark.bakker@tudelft.nl**

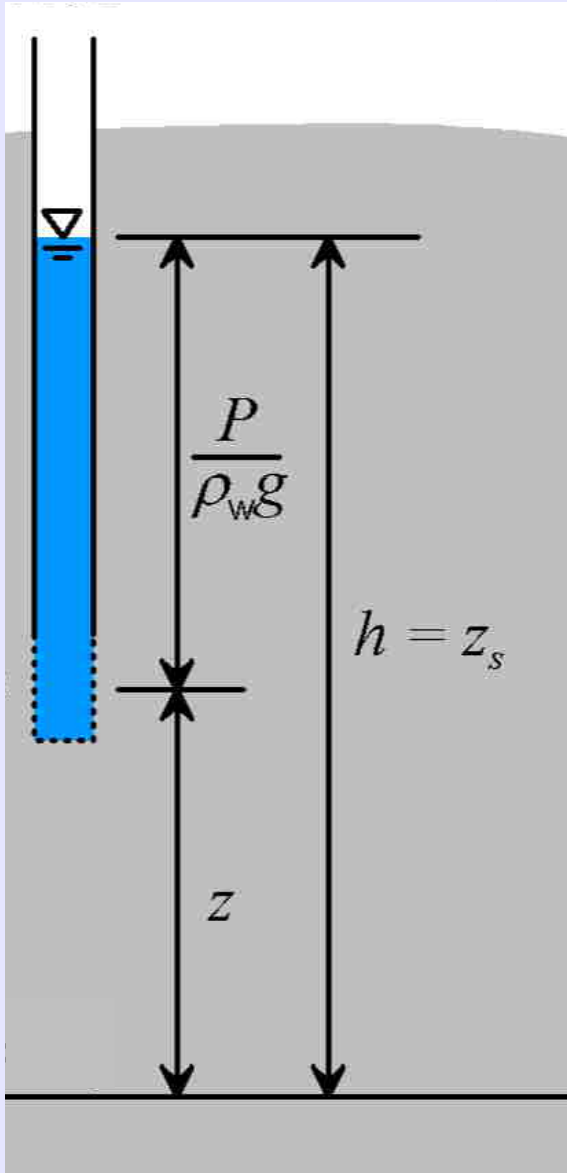
**Room 4.92.1**

Henry Darcy

Fountains of Dijon



# Geohydrologie basis principes: stijghoogte, specifiek debiet, wet van Darcy



**stijghoogte (of head):** hoogte van waterstand in stijgbuis

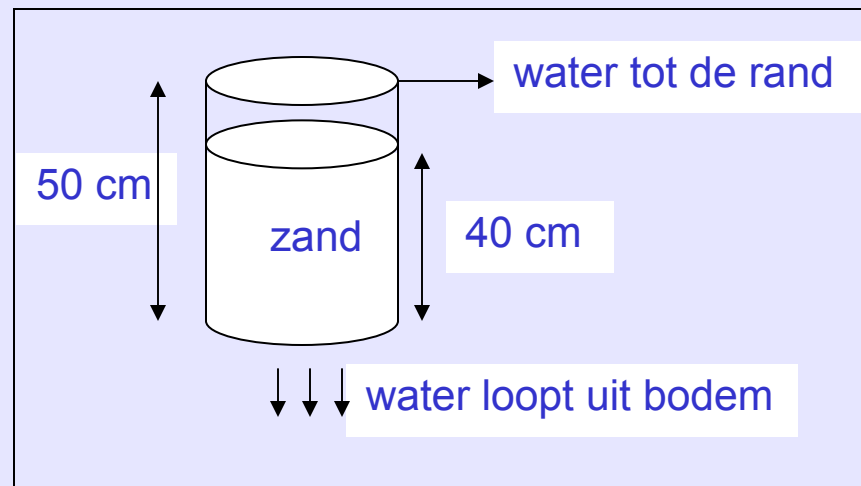
$q_x$  **specifiek debiet:** debiet door eenheidsoppervlakte in  $x$ -richting

**wet van Darcy:**  $q_x = -K \frac{\partial h}{\partial x}$

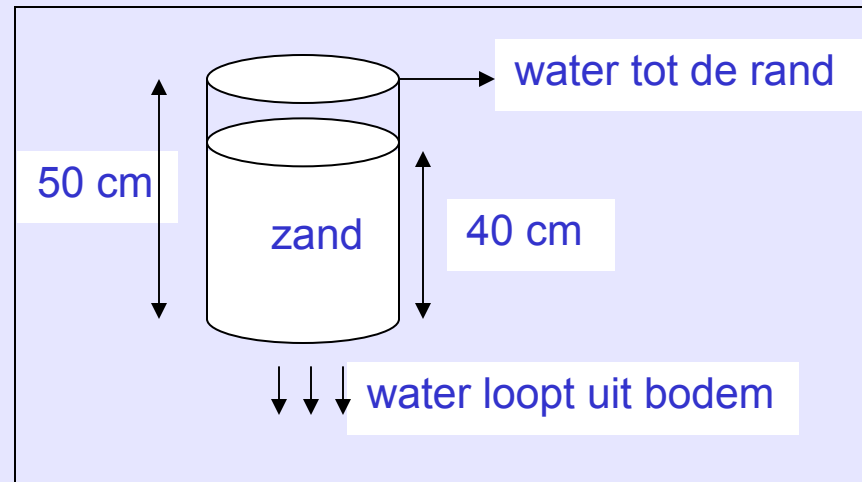
**gemiddelde snelheid:**  $v_x = \frac{q_x}{n}$

# Voorbeeld

Een hydroloog besluit in het veld de doorlatendheid van de grond te meten met een grote emmer. De emmer heeft een hoogte van 50 cm en een diameter van 30 cm. De hydroloog slaat een aantal gaten in de bodem van de emmer, vult hem met 40 cm droog zand en voegt water toe totdat het water precies aan de rand staat. Hij blijft water toevoegen zodat het water aan de rand blijft staan terwijl het water ook door de gaten uit de bodem loopt (we gaan ervan uit dat de gaten verder geen weerstand geven). Na een poosje ontstaat een stationaire situatie en meet de hydroloog dat er in 1 minuut 1 liter water onder uit de emmer loopt.



## vervolg voorbeeld



Na een poosje ontstaat een stationaire situatie en meet de hydroloog dat er in 1 minuut 1 liter water onder uit de emmer loopt. Gebruik bodem van emmer als referentie

Vraag a). Wat is de plaatshoogte, drukhoogte en stijghoogte aan de bovenkant van het zand?

Vraag b). Wat is de plaatshoogte, drukhoogte en stijghoogte aan de onderkant van het zand?

Vraag c). Wat is de doorlatendheid van het zand in meters/dag?

Specifiek debiets vector in x-richting  
(debiet door 1 m<sup>2</sup>)

$$q_x = -K \frac{\partial h}{\partial x}$$

Debiets vector in x-richting  
(debiet over hele aquifer dikte  $D$ )

$$Q_x = -KD \frac{\partial h}{\partial x}$$
$$= -T \frac{\partial h}{\partial x}$$

In het veld meet je meestal de  $KD$ .

Voorbeeld:  $K = 10$  m/d,  $D = 50$  m,  $dh/dx = 0.001$ :

$$q_x = 0.01 \text{ m/d}, Q_x = 0.5 \text{ m}^2/\text{d}$$

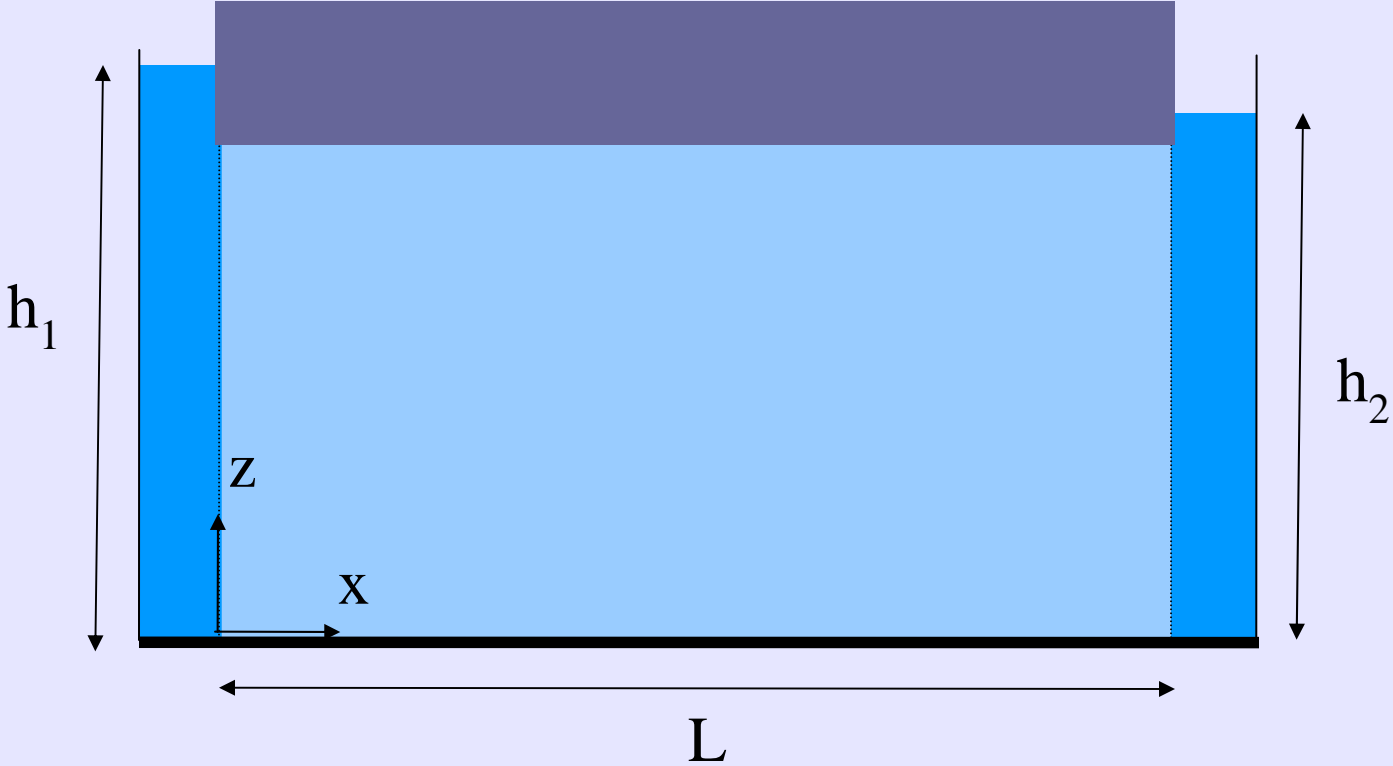
# Afleiding stromingsvergelijking voor stationaire stroming door combinatie van de wet van Darcy en continuïteit

$$\text{uit} - \text{in} = 0$$



(volg het bord hieronder)

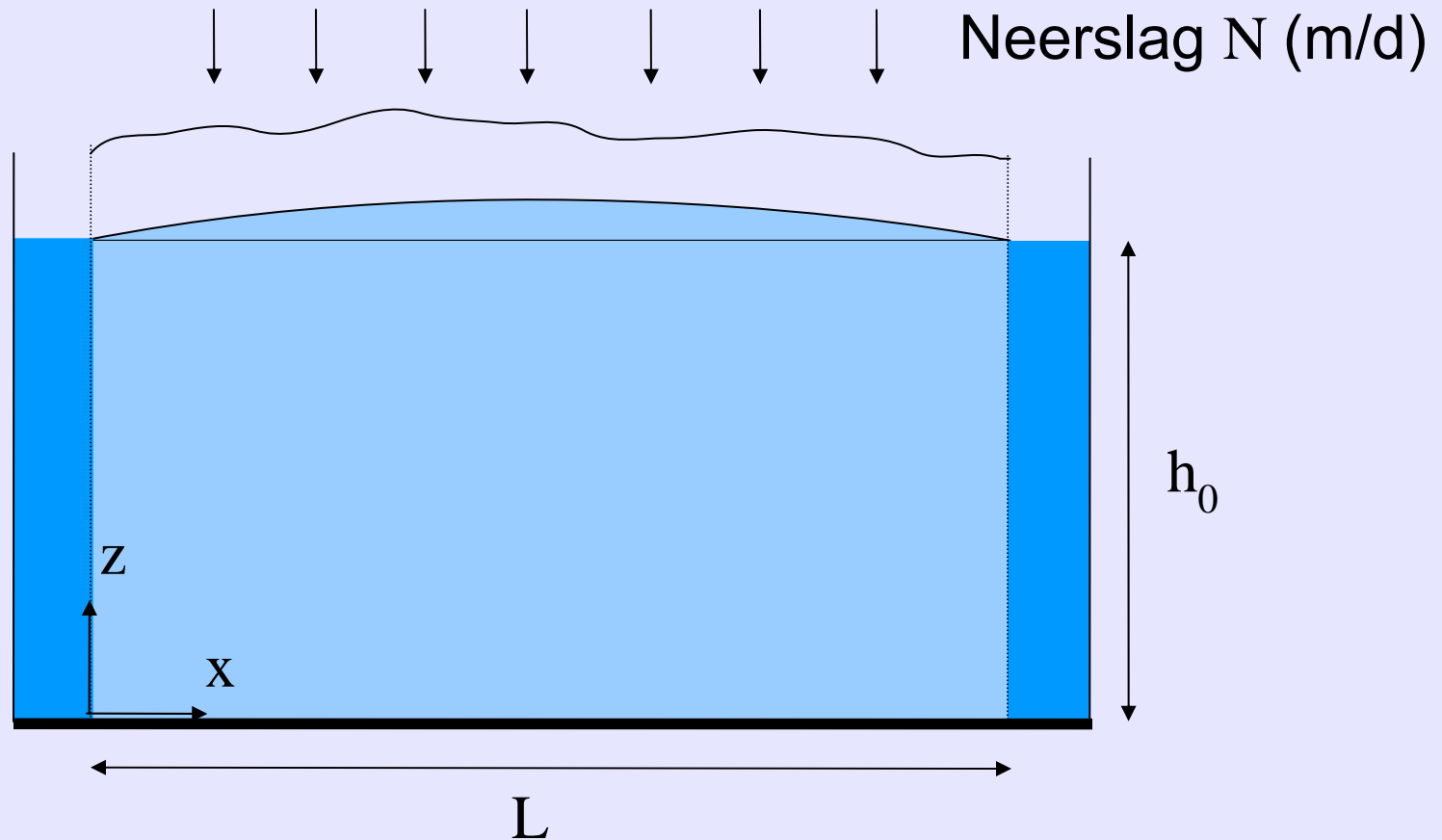
# Stroming tussen twee waterlopen



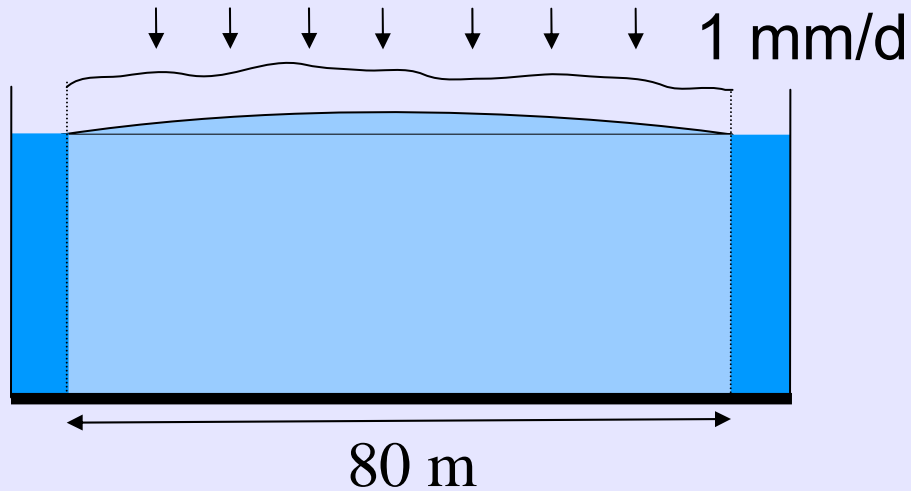


## Voorbeeld toepassing:

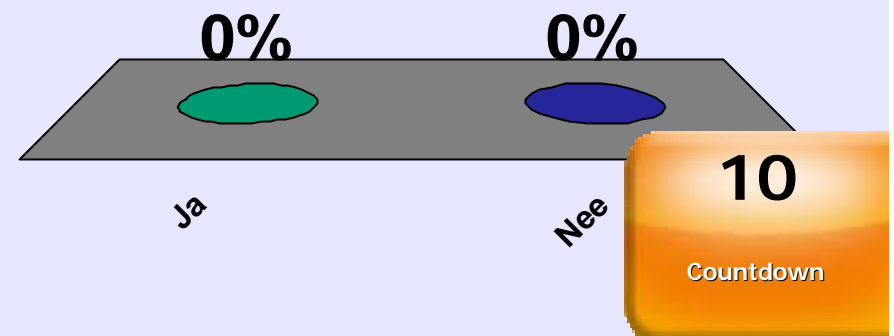
## Opbolling tussen twee kanalen met gelijke peilen



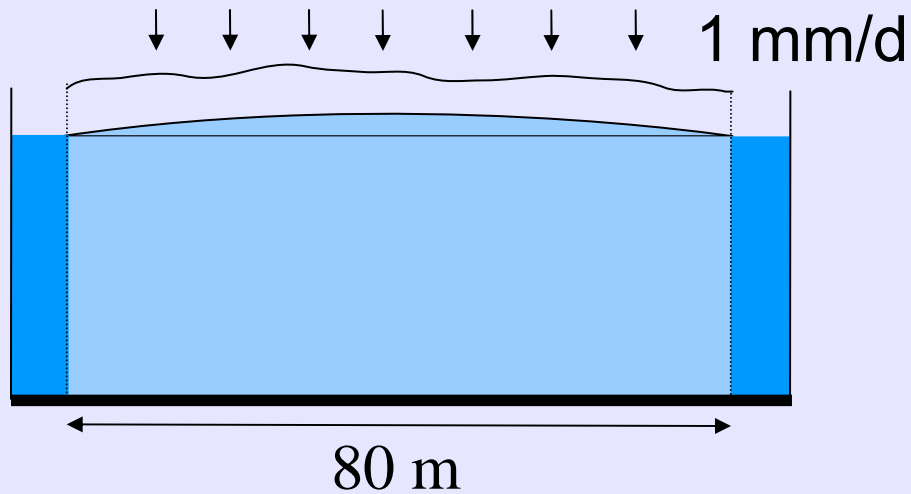
**Ik wil het debiet naar de sloten weten in de stationaire situatie. Moet ik daar de doorlatendheid voor weten?**







1. Ja
2. Nee



Wat is het debiet naar de sloten (in m<sup>3</sup> per meter sloot)?



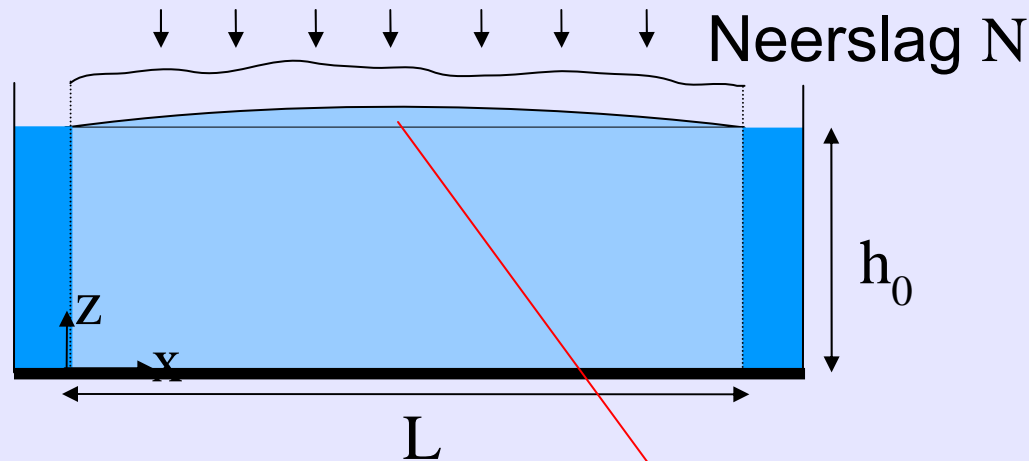
1. 4 m<sup>3</sup>/dag
2. 0.16 m<sup>3</sup>/dag
3. 0.04 m<sup>3</sup>/dag
4. 0.01 m<sup>3</sup>/dag

0%	0%	0%	0%
			
4 m <sup>3</sup> /dag	0.16 m <sup>3</sup> /dag	0.04 m <sup>3</sup> /dag	0.01 m <sup>3</sup> /dag

10  
Countdown

## Voorbeeld toepassing:

Opbolling tussen twee kanalen:  $NL^2 / (8kh_0)$



$$N = 1 \text{ mm/d}$$

$$L = 80 \text{ m}$$

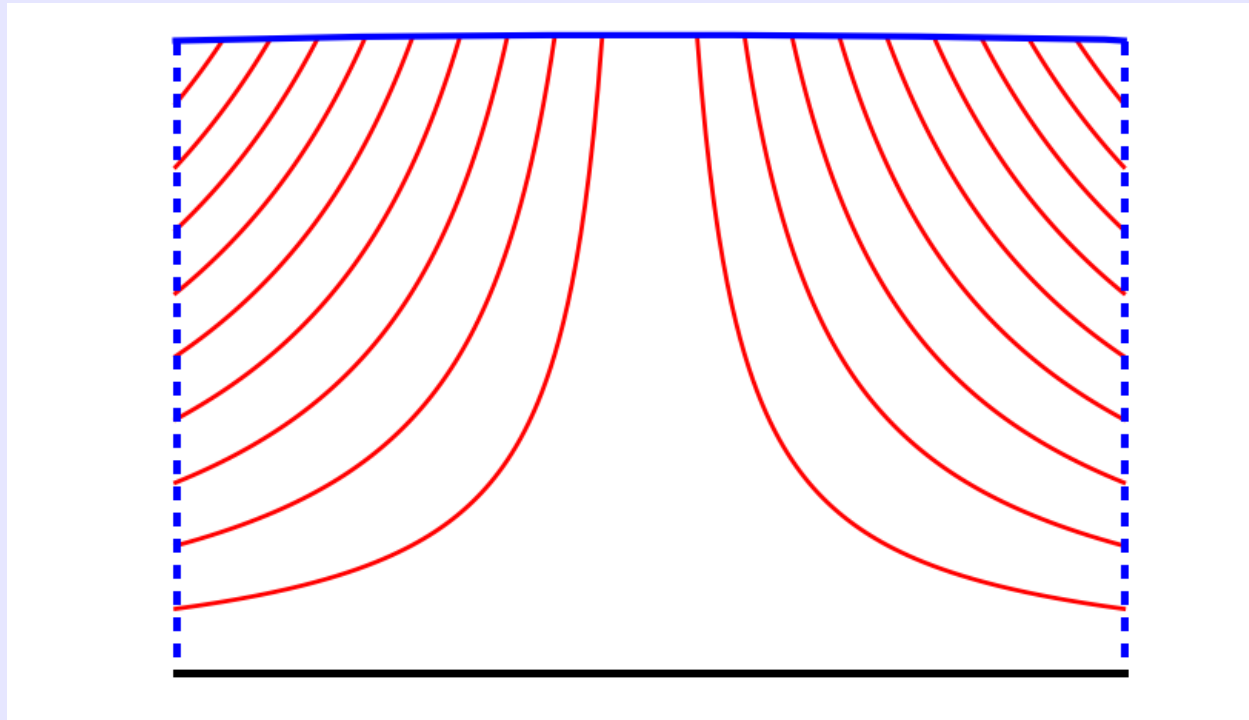
$$h_0 = 10 \text{ m}$$

$$k = 1 \text{ m/d}$$

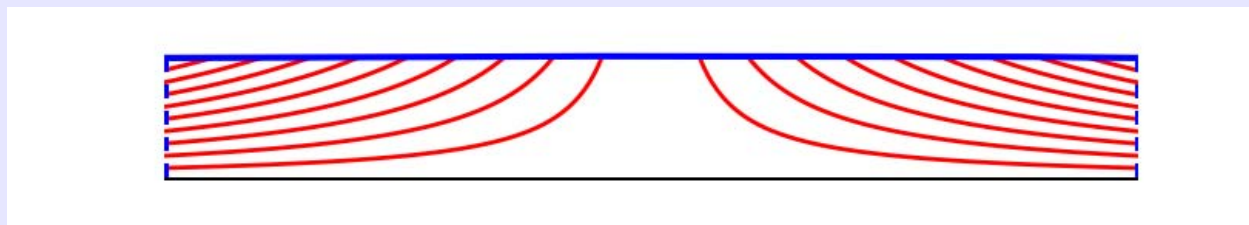
opbolling is 8 cm !

(dus aanname van  
constante tranmissiviteit  
was nog niet zo slecht)

# Vertikale stroomlijnen in verticale doorsnede

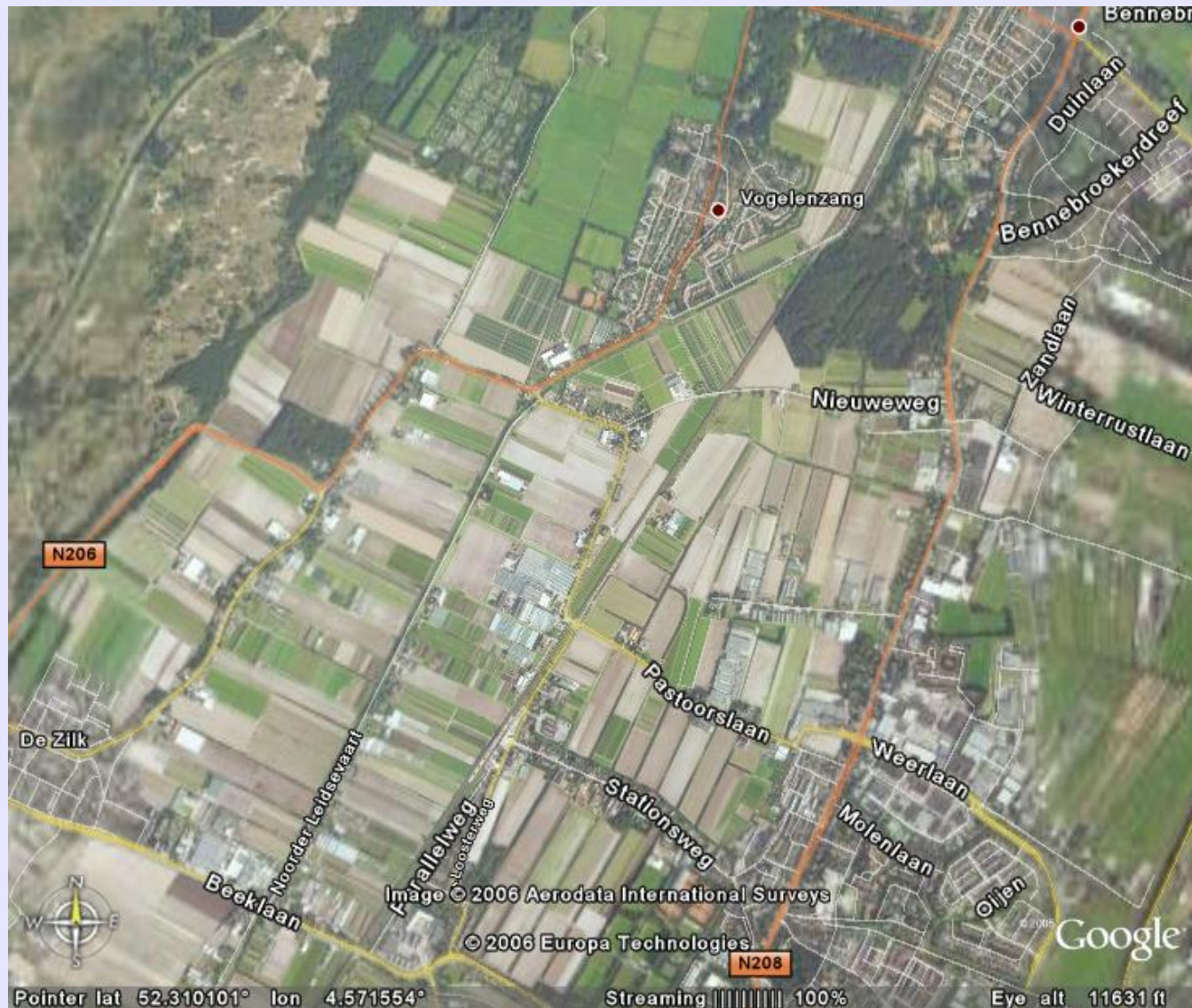


horizontale schaal = verticale schaal

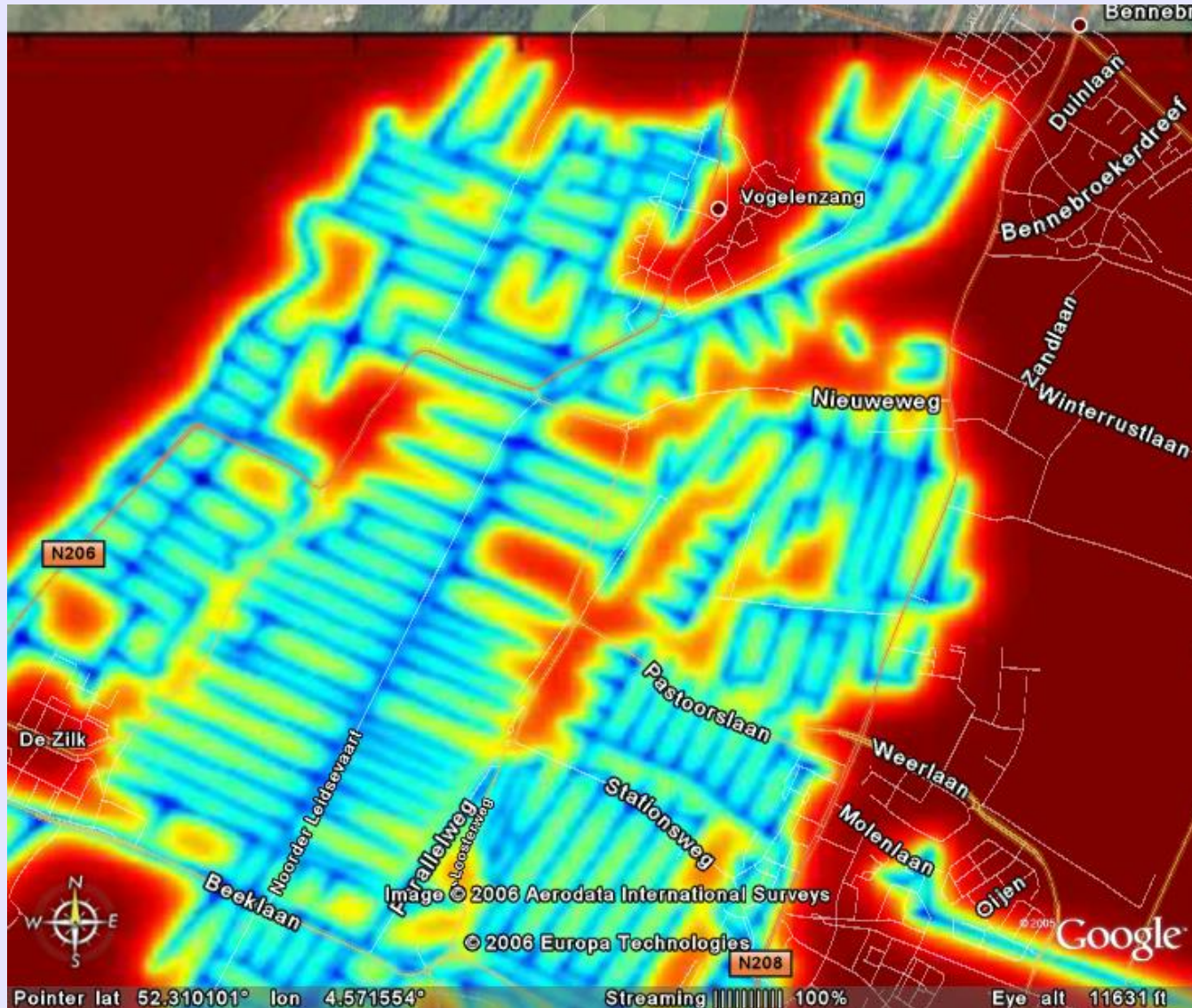


(bijna horizontale stroming)

# Opbolling in twee dimensies tussen de slootjes van de bollenvelden



# Opbolling in twee dimensies tussen de slootjes van de bollenvelden bij de Zilk

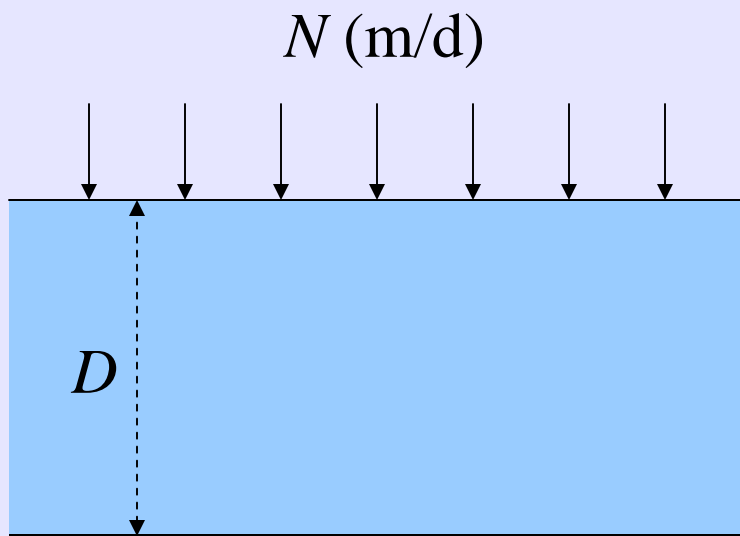


Specifiek debiets vector in x-richting  
(debiet door 1 m<sup>2</sup>)

$$q_x = -K \frac{\partial h}{\partial x}$$

Debiets vector in x-richting  
(debiet over hele aquifer dikte  $D$ )

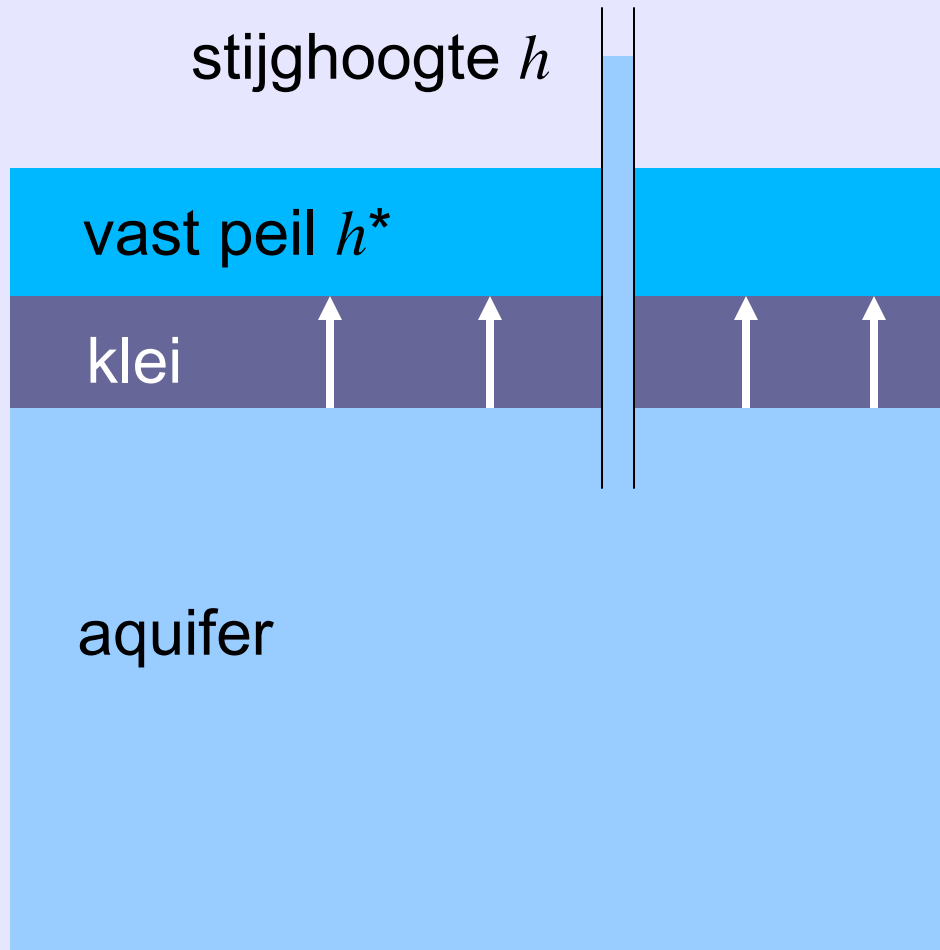
$$Q_x = -KD \frac{\partial h}{\partial x}$$
$$= -T \frac{\partial h}{\partial x}$$



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



# Semi-spannings water in polders

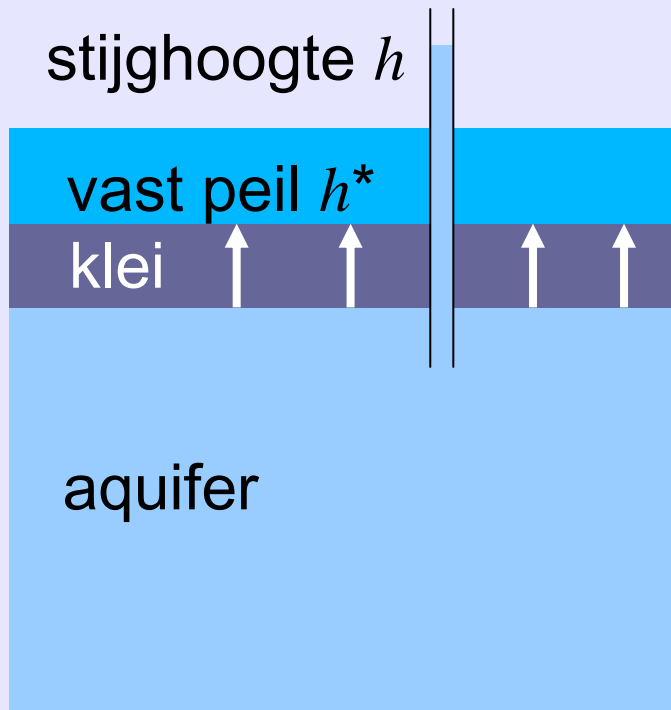


$$q_z = \frac{h - h^*}{c}$$

$$\frac{\partial^2 (h - h^*)}{\partial x^2} = \frac{h - h^*}{\lambda^2}$$

Spreidingslengte:  $\lambda = \sqrt{kDc}$

# Semi-spannings water in polders

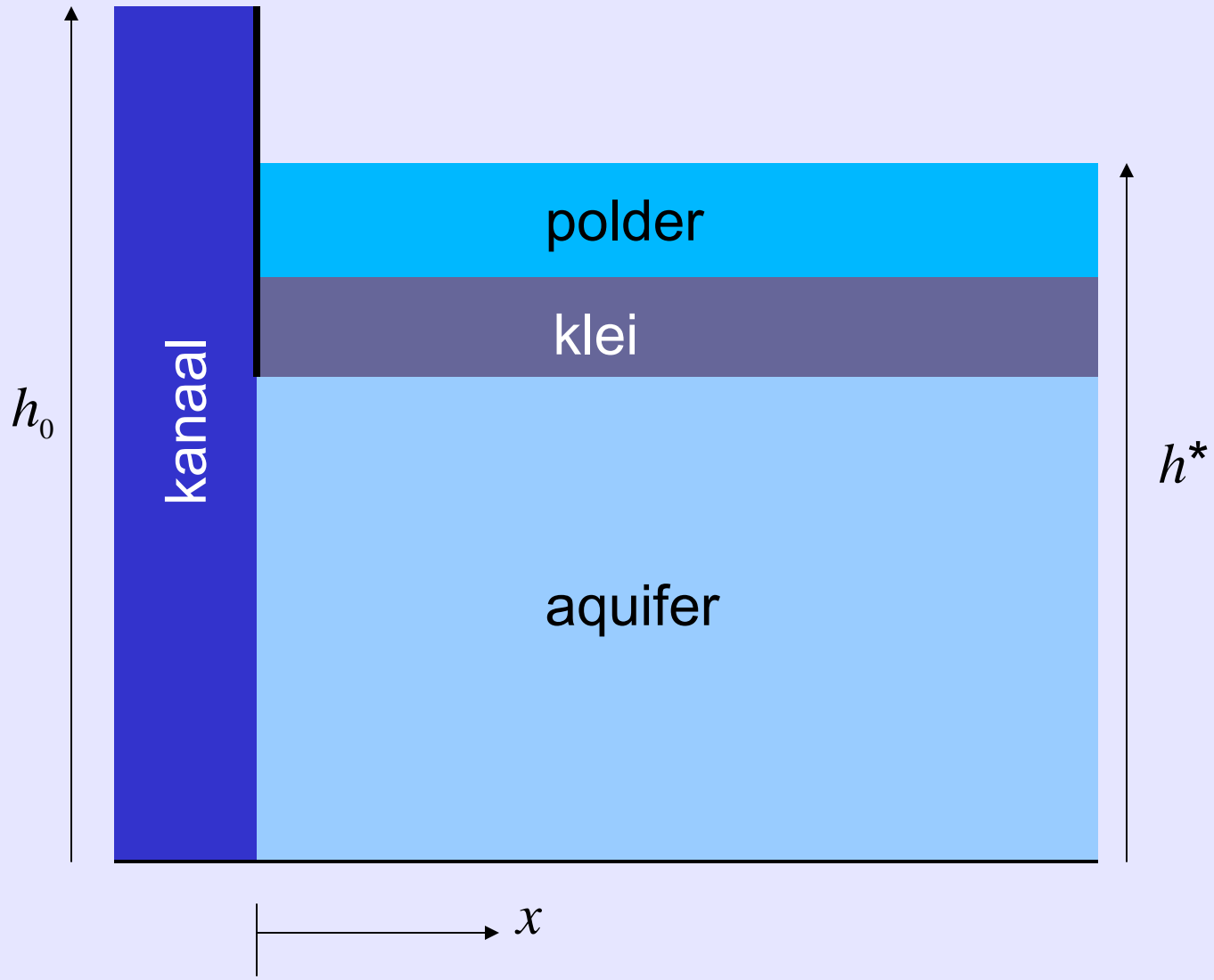


$$\frac{\partial^2 (h - h^*)}{\partial x^2} = \frac{h - h^*}{\lambda^2}$$

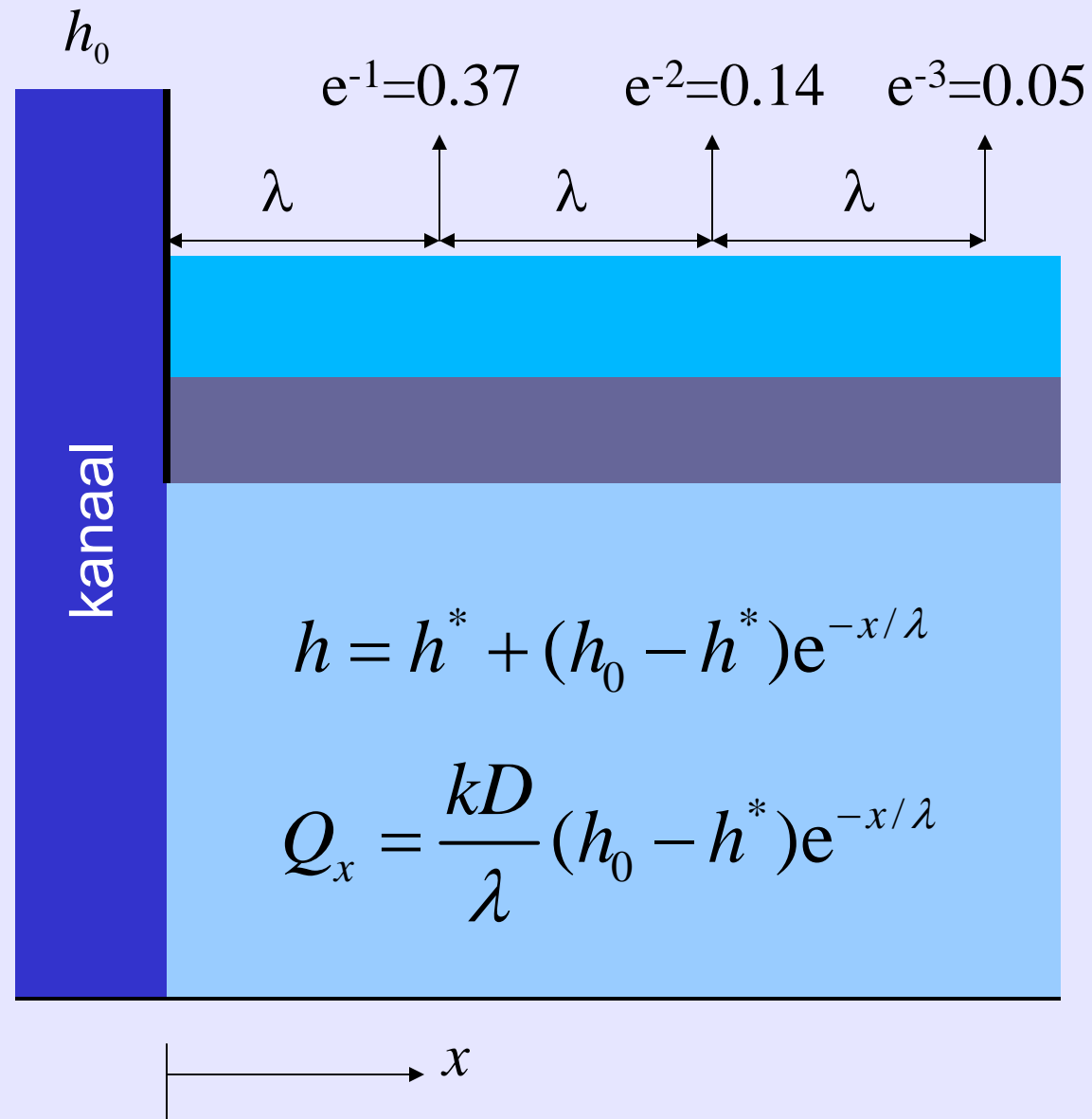
Algemene oplossing:

$$h - h^* = Ae^{-x/\lambda} + Be^{+x/\lambda}$$

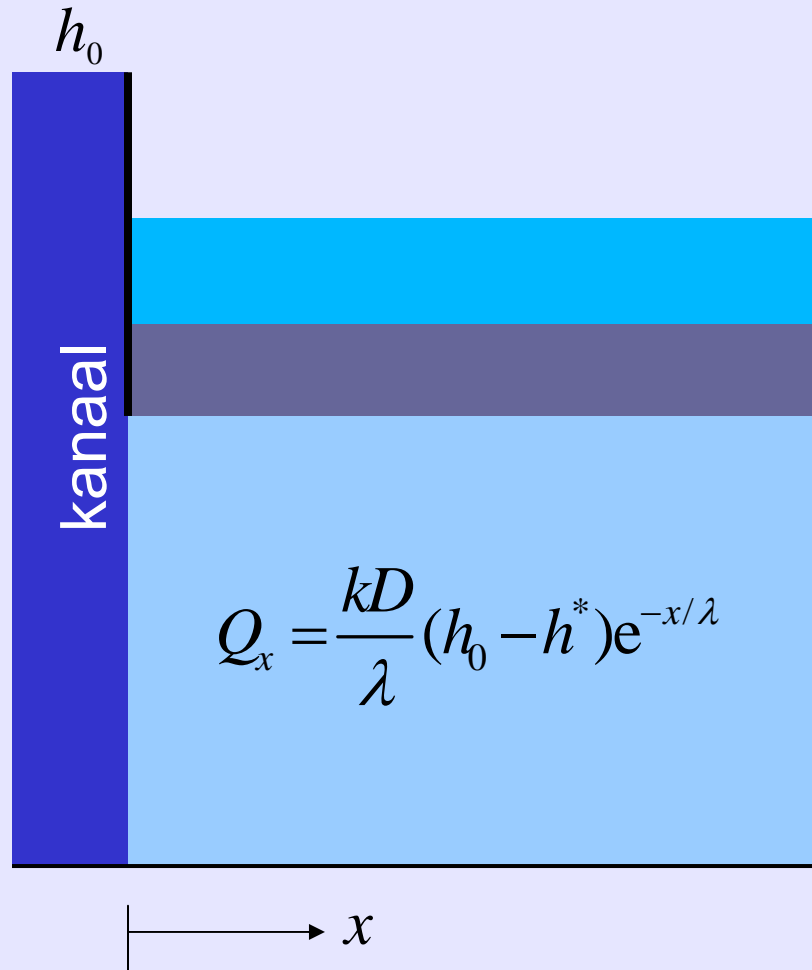
# Semi-spannings water in polders



# Semi-spannings water in polders



# Semi-spannings water in polders



$$k = 10 \text{ m/d}$$

$$D = 20 \text{ m}$$

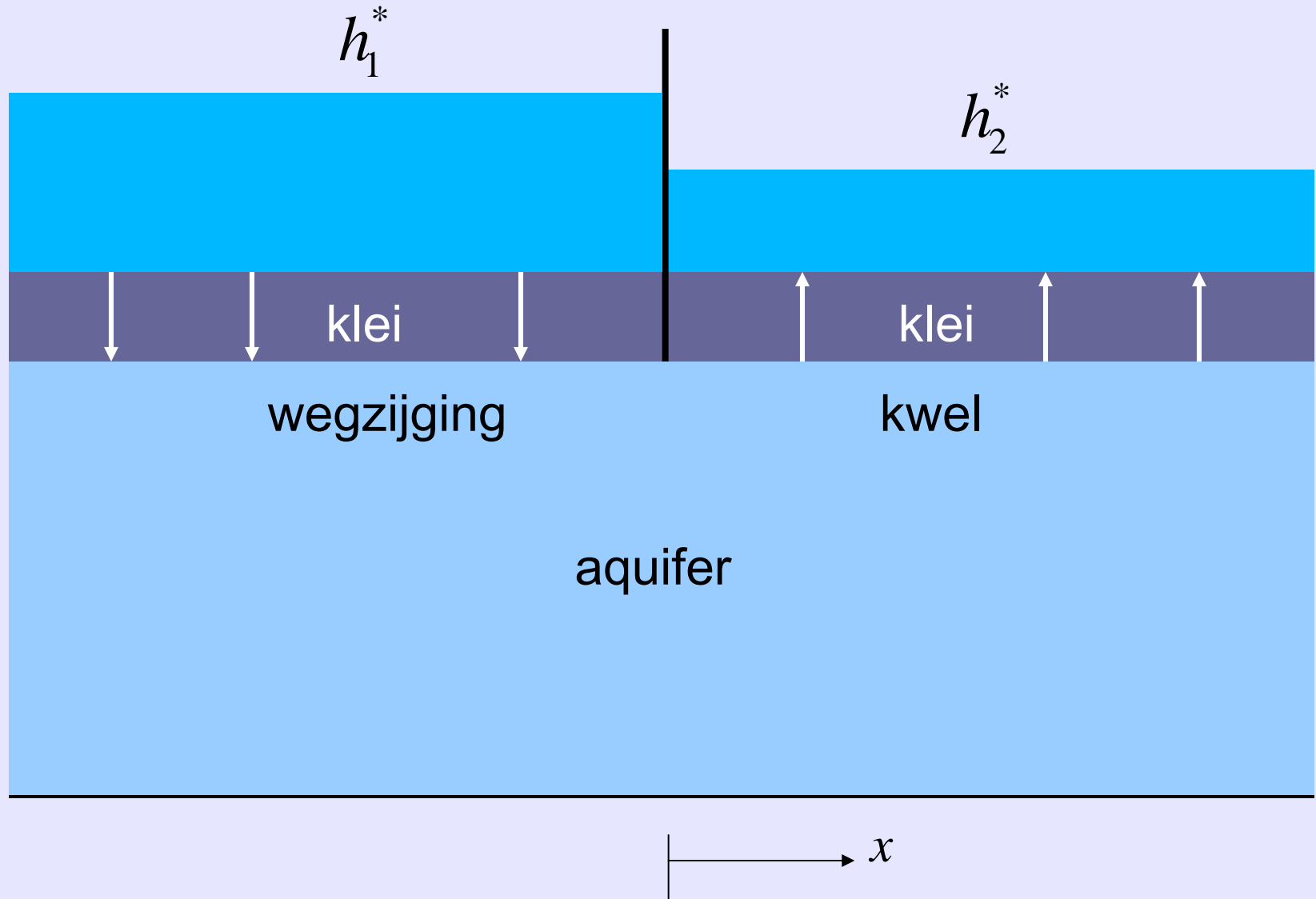
$$c = 2000 \text{ d}$$

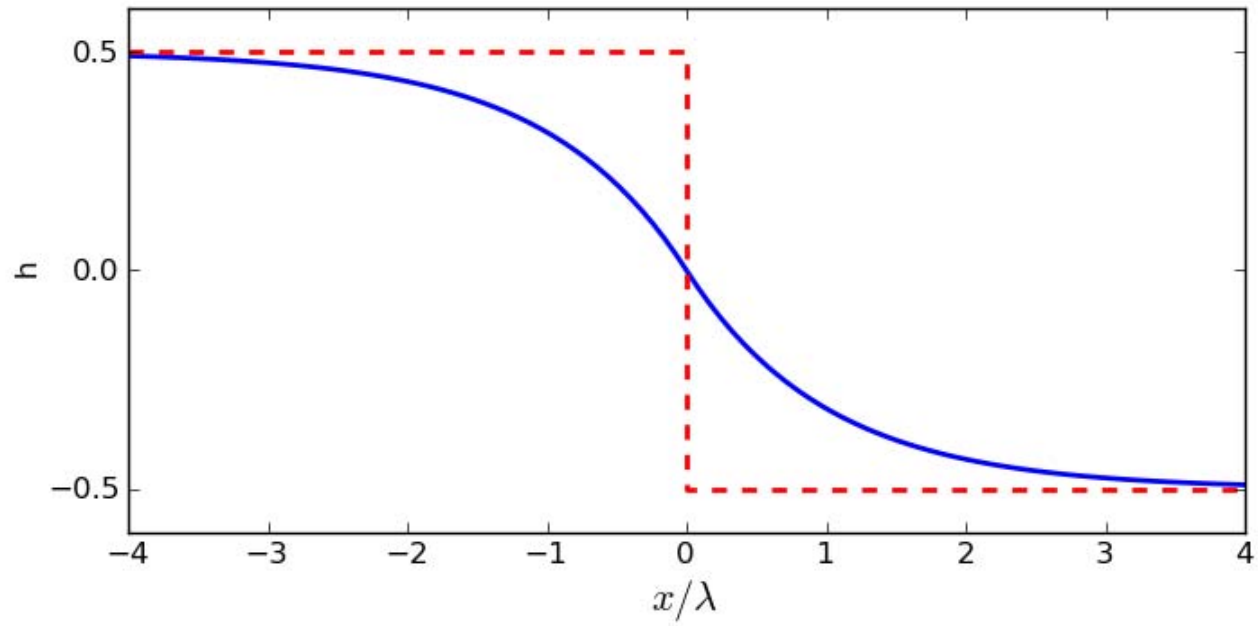
$$\lambda = 630 \text{ m}$$

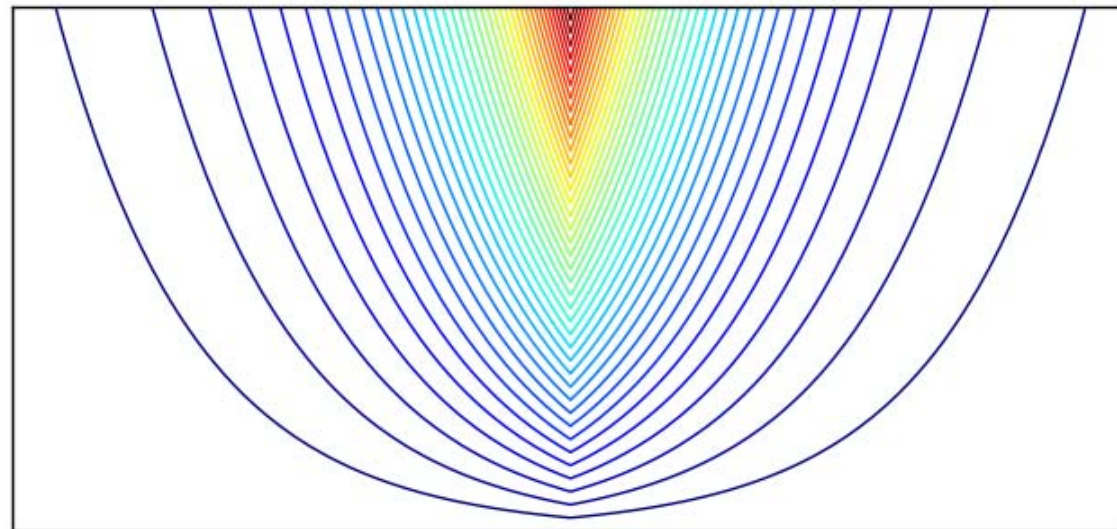
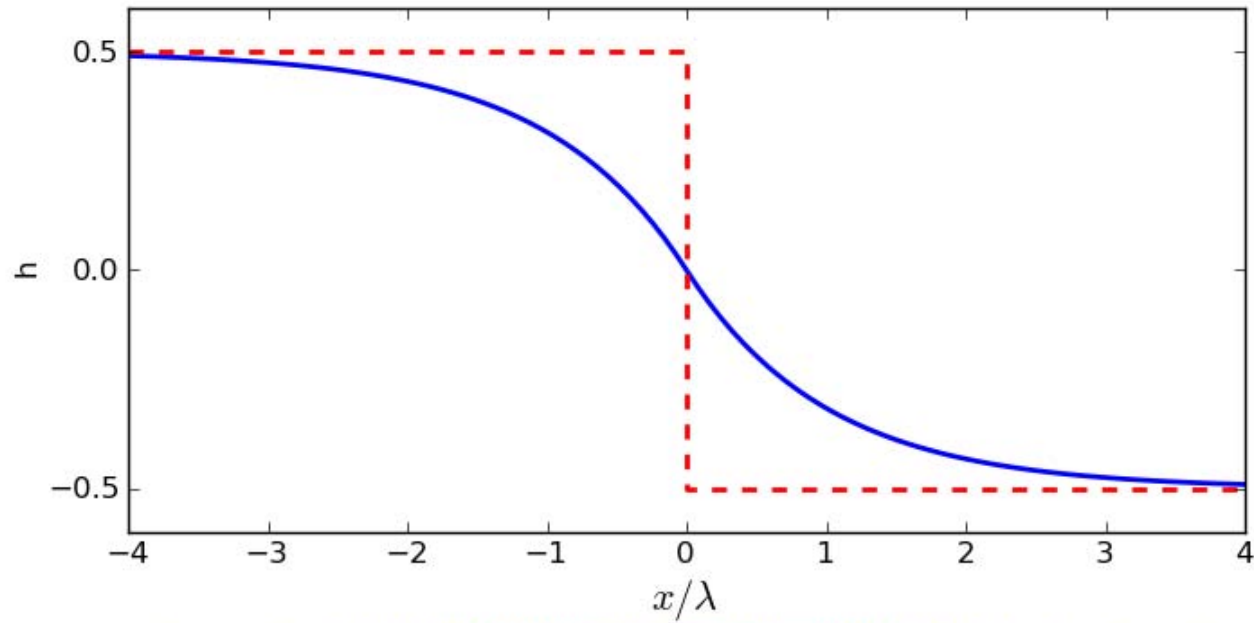
$$h_0 - h^* = 1 \text{ m}$$

Lek per meter dijk:  $0.32 \text{ m}^3/\text{d}$

# Stroming tussen twee polders







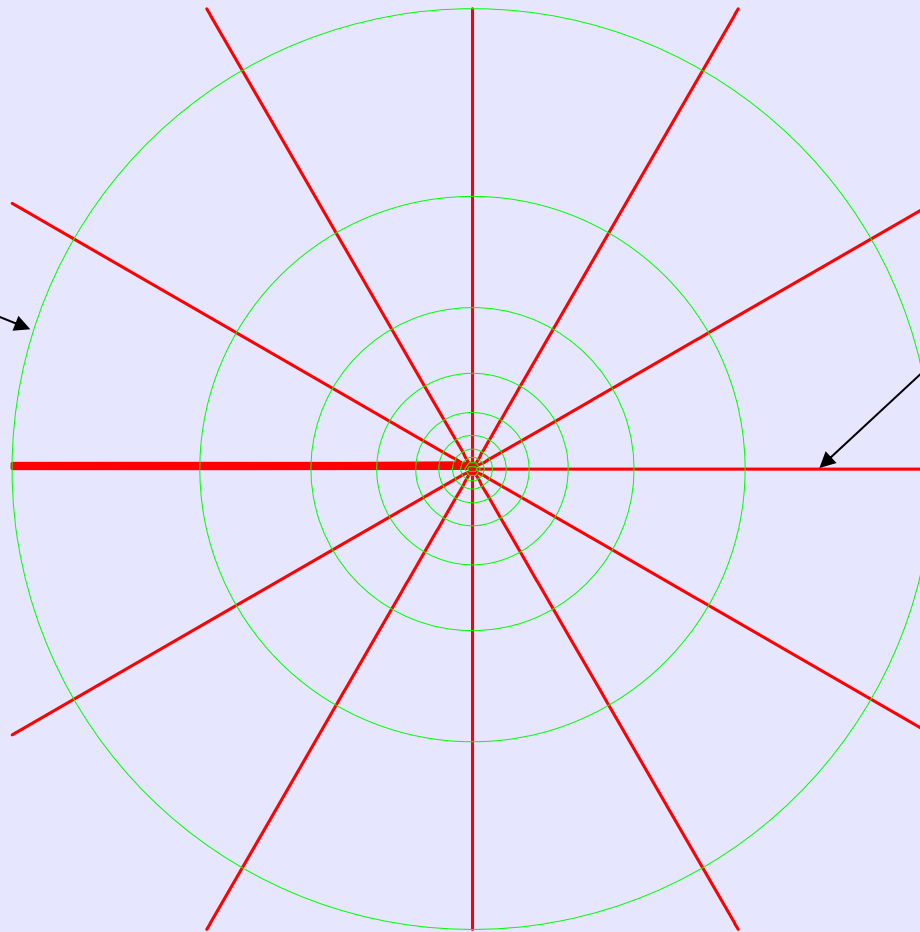
2.5% van  
totale debiet  
stroomt  
tussen 2  
stroomlijnen



**Contourlijnen van stijghoogte zijn zoals een topografische kaart.**

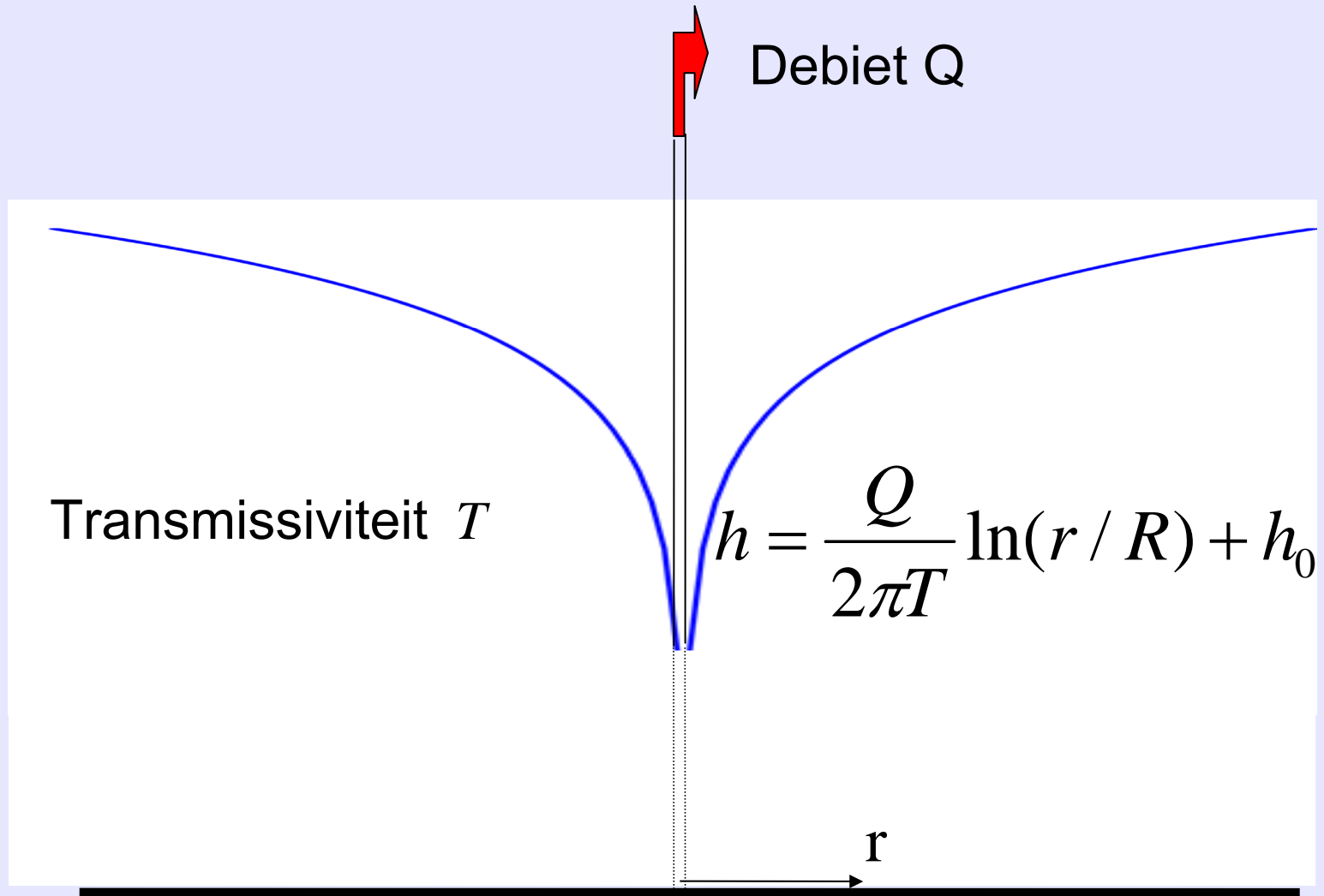
**Bijvoorbeeld: stroming naar een put**

Lijnen van  
constante  
stijghoogte  
(isohypsen)

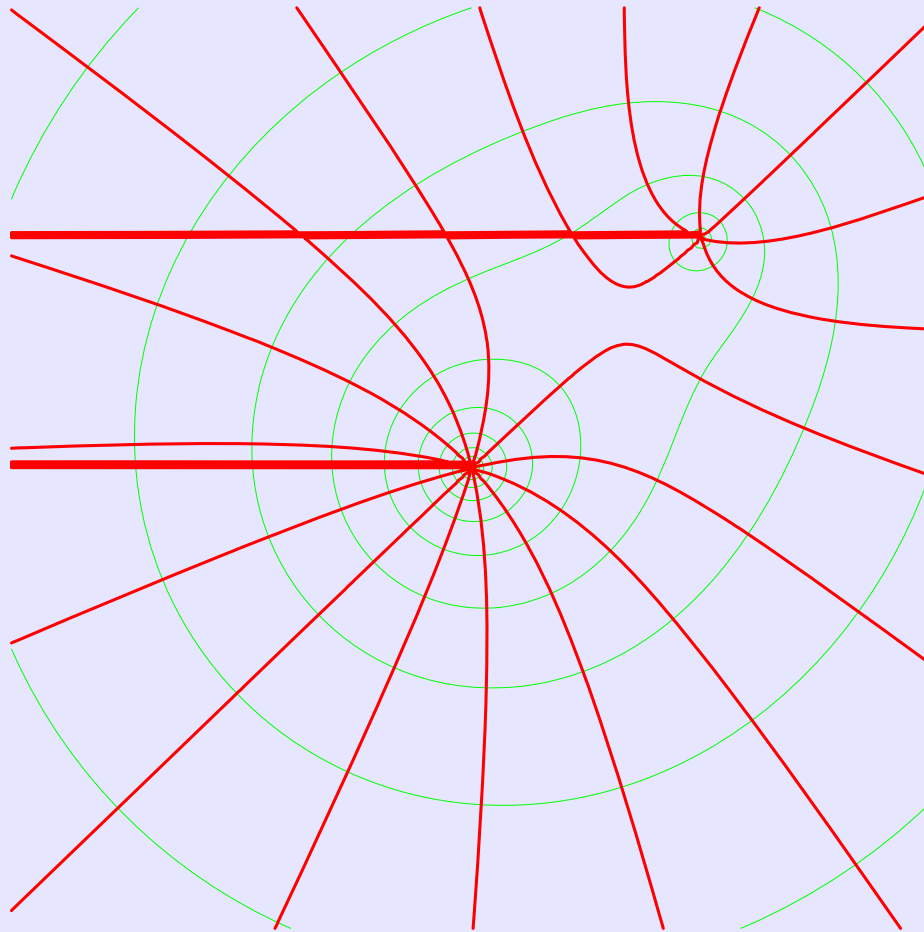


Stroomlijnen

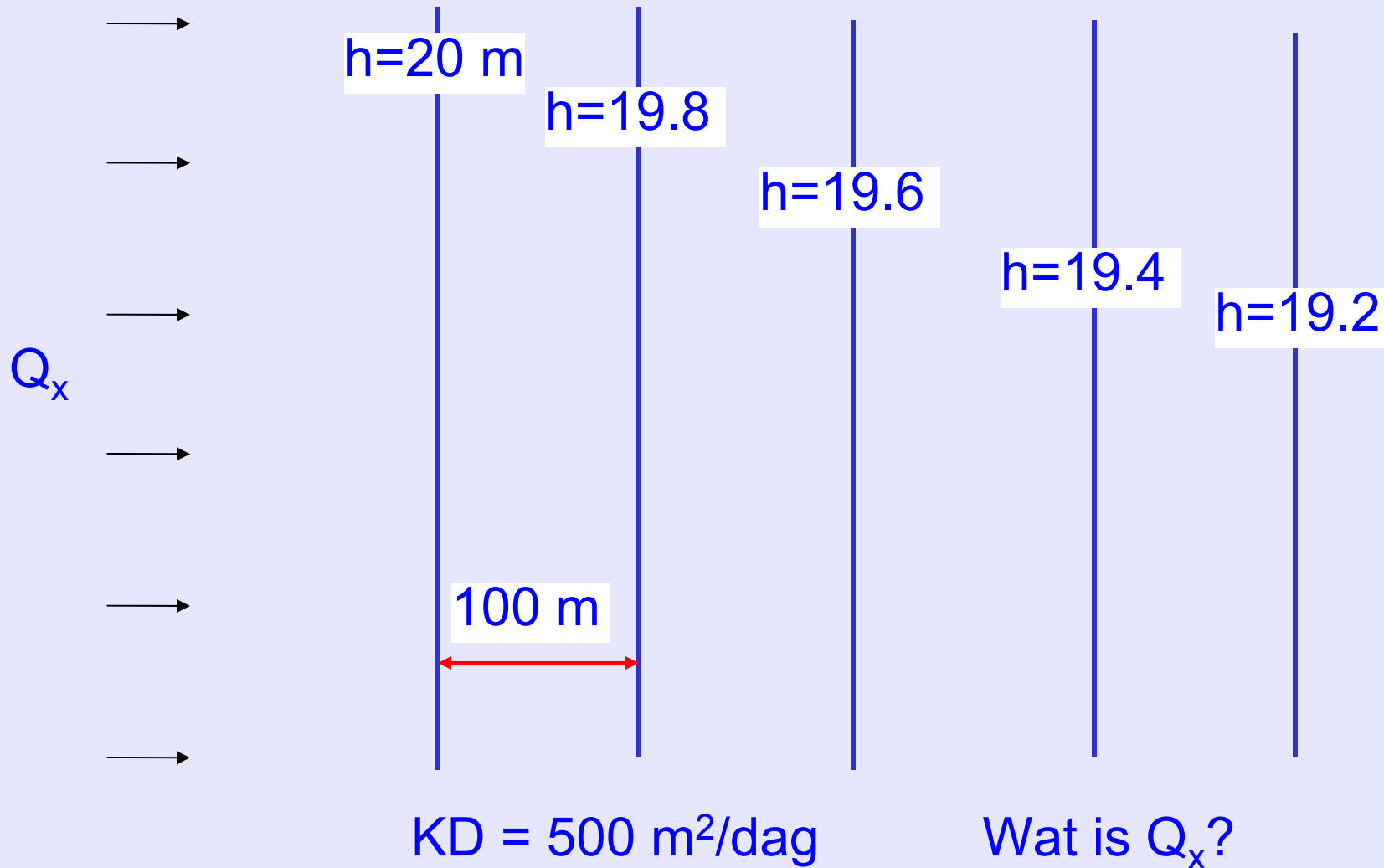
# Nabij de put ontstaat een verlagingskegel



# Stroming naar twee putten: Ingewikkelde stromingspatronen



In een gebied met redelijk uniforme stroming wil je een put installeren met debiet  $Q = 200 \text{ m}^3/\text{dag}$



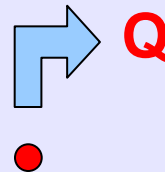
# Hoe breed is het gebied dat door het pompstation afgevangen wordt?



Put met debiet  $Q = 200 \text{ m}^3/\text{dag}$



Uniforme  
Stroming

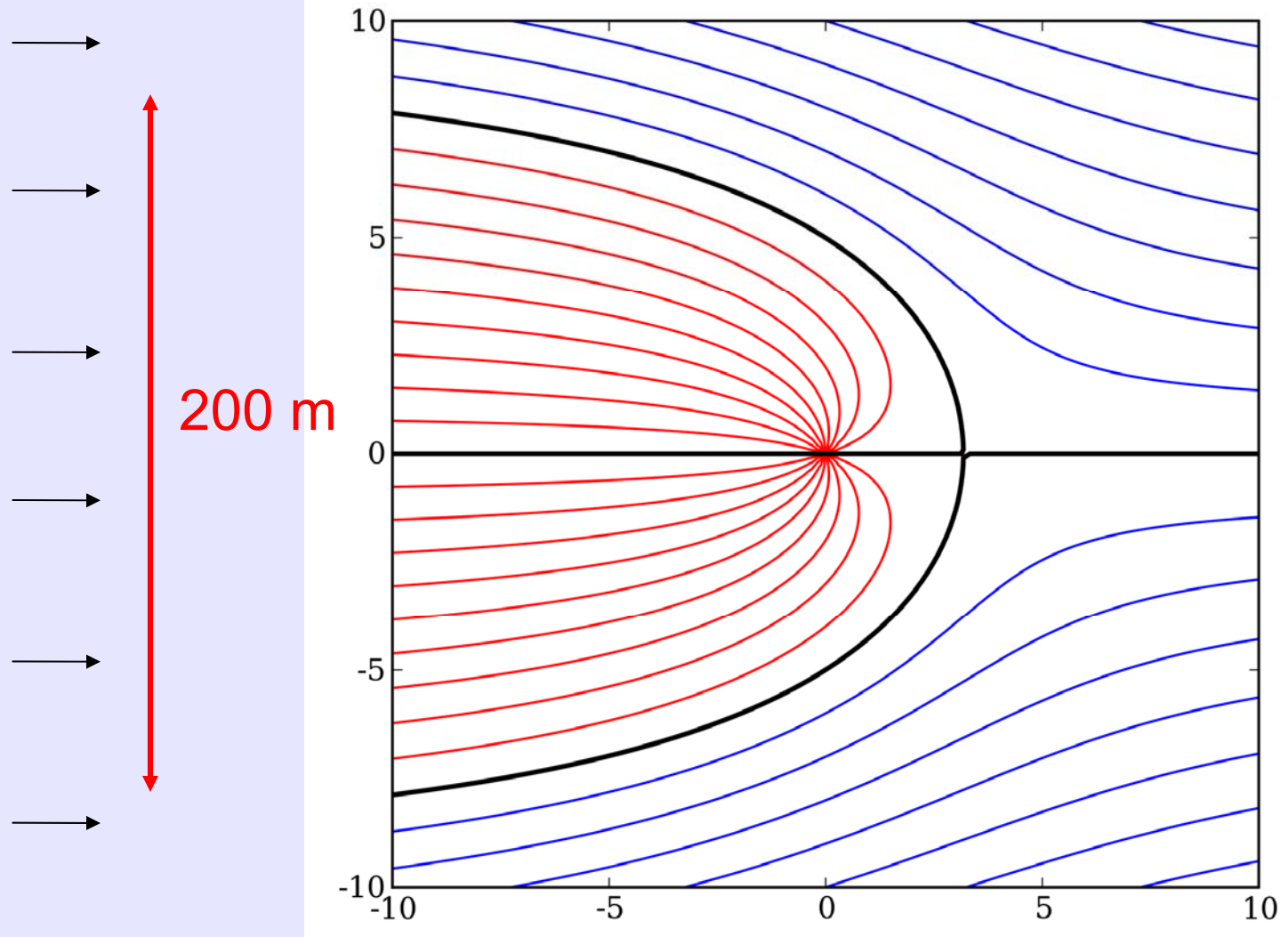


$Q_x = 1 \text{ m}^2/\text{dag}$



Water balans: Breedte is 200 m

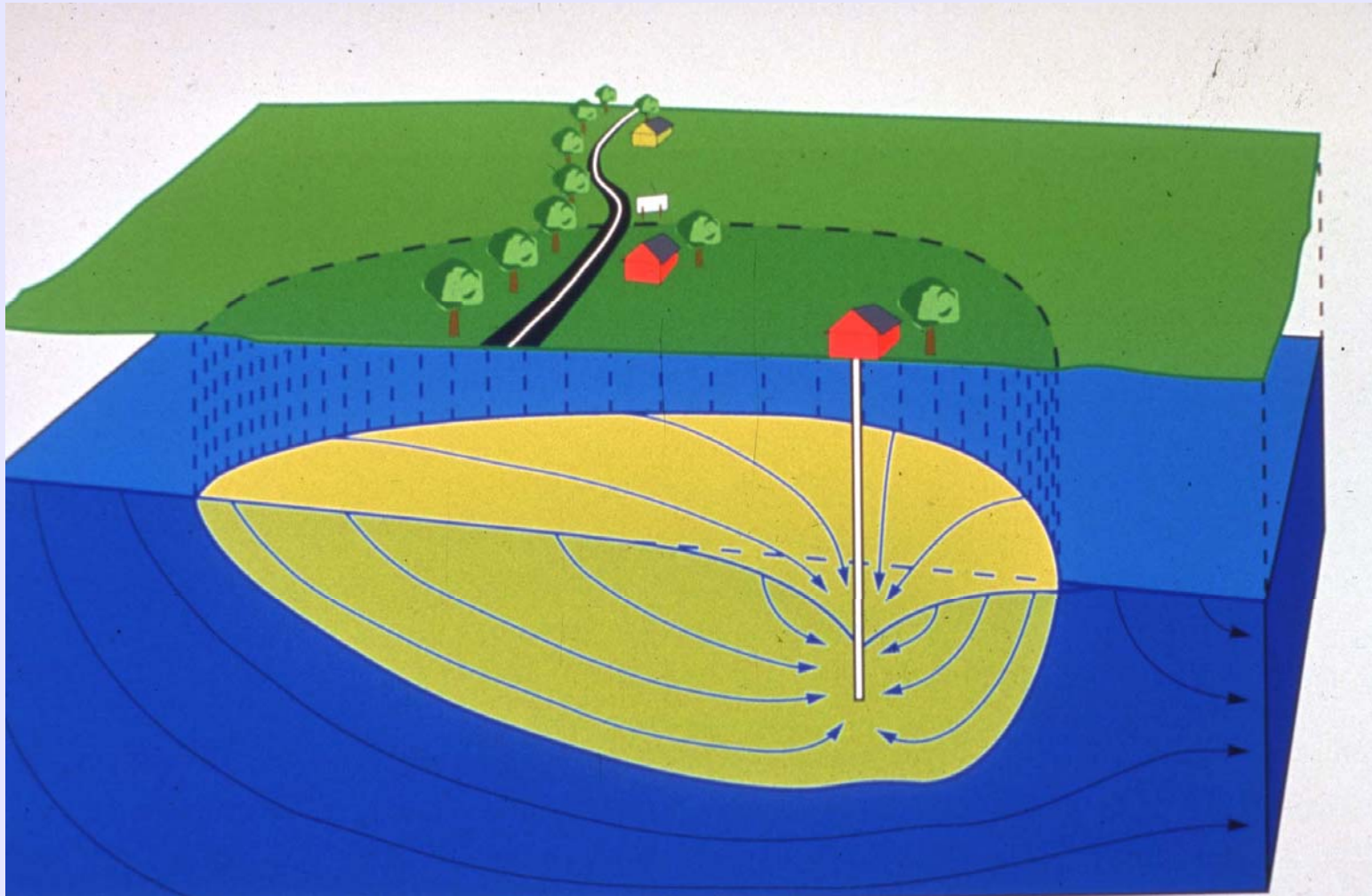
**Capture zone (intrekgebied) is het gebied dat afgevangen wordt door de put**



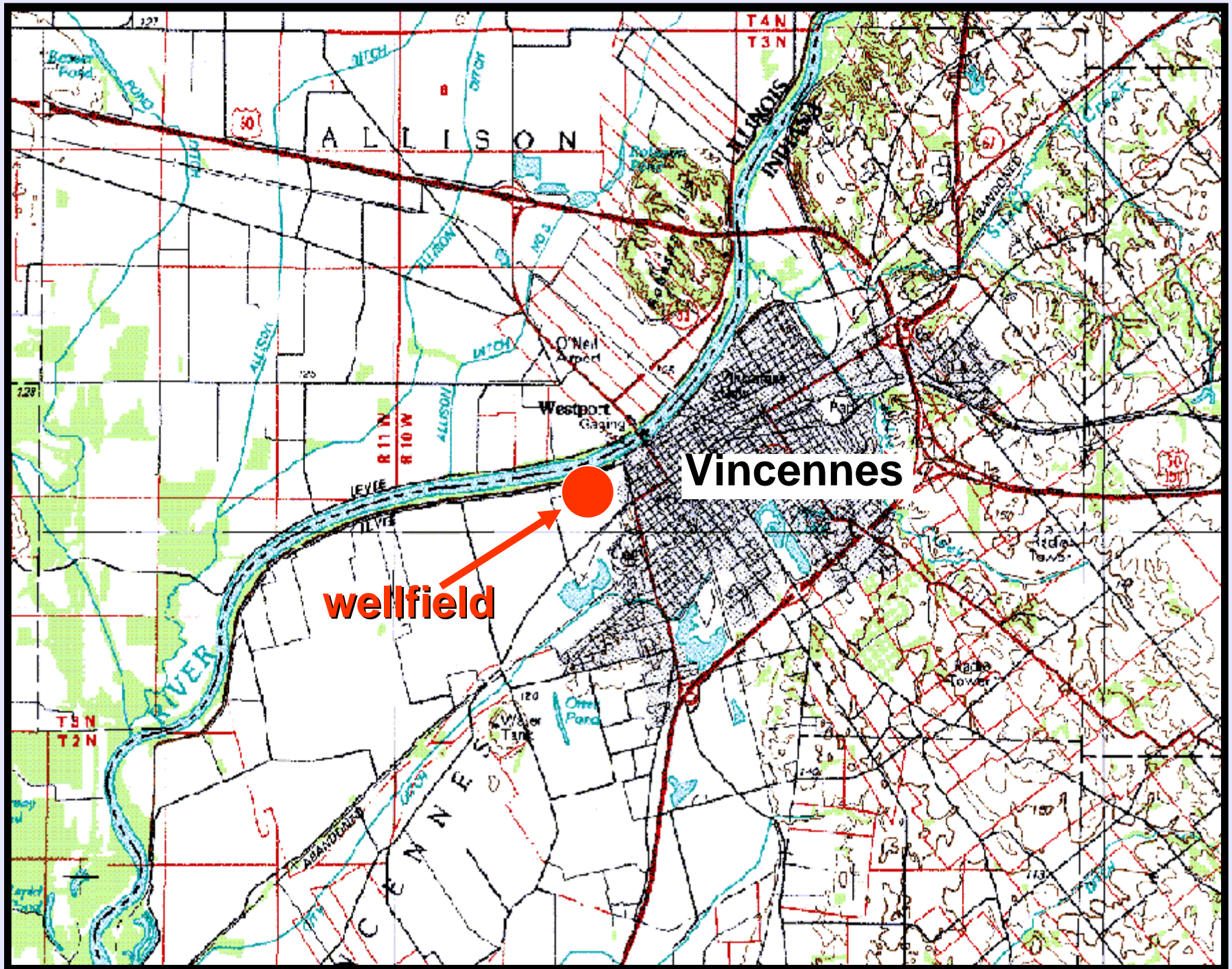
# Er zijn vele bronnen van mogelijke verontreinigingen van puttenvelden

- Riolering, septische systemen
- Pesticiden, herbiciden en andere landbouwchemicaliën
- Organische afvalprodukten van vee/kippen/varkenshouderijen
- Industriële en gevaarlijke afvalstoffen
- Oppervlakte afvoer van stedelijke gebieden
- Lekkende ondergrondse opslagtanks (ze lekken allemaal)
- Lekkende (voormalige) vuilnisbelten
- Zeewater

# Drie-dimensionale intrekgebied van een pompput moet beschermd worden







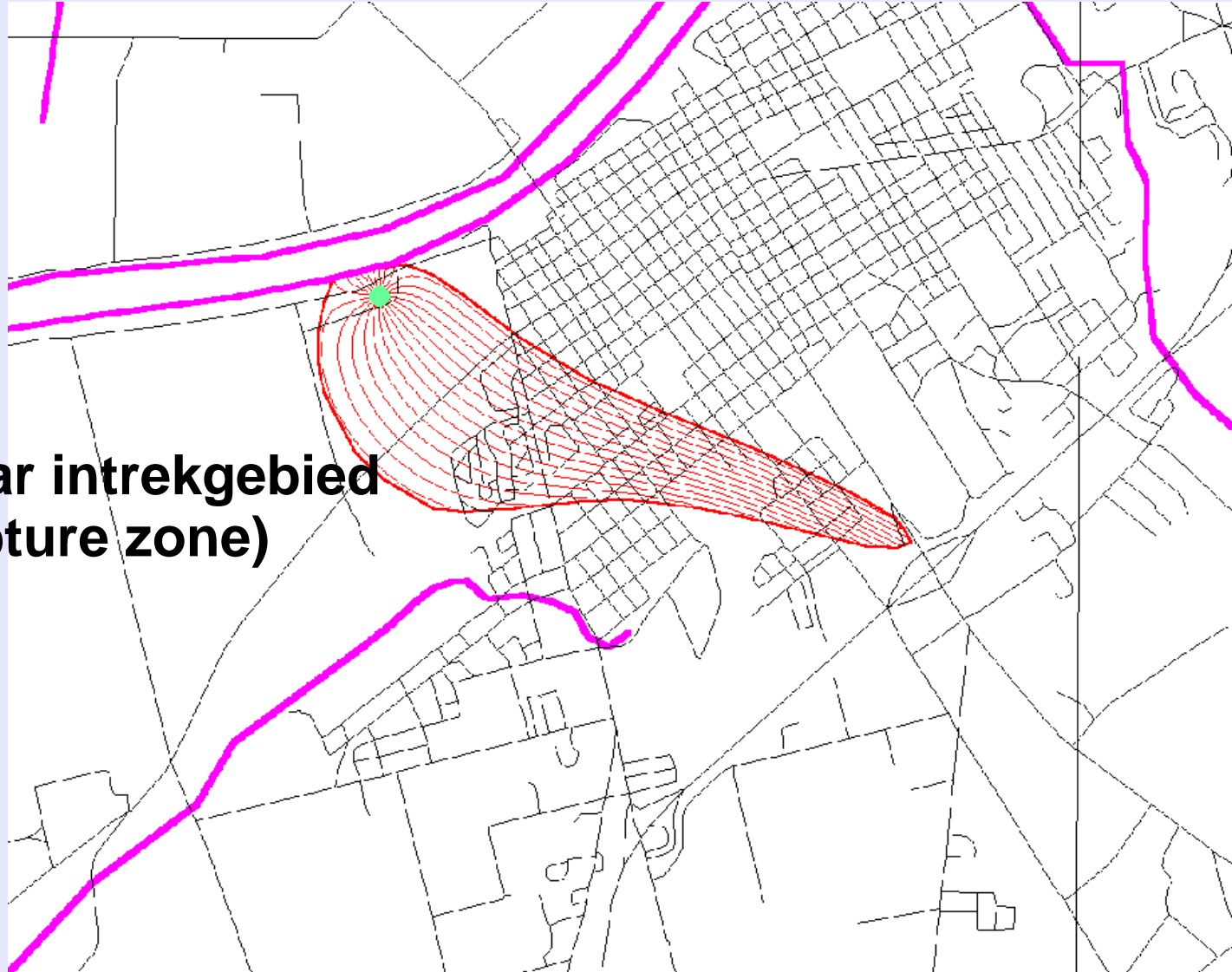
Vincennes

wellfield



# Intrekgebieden worden bepaald met een computer model en beslaan een bepaalde periode

**5 jaar intrekgebied  
(capture zone)**



# Nabij de kust zit er zowel zoet als zout water in de (diepere) aquifers

Zeewater is ~2.5% zwaarder dan zoet water

Dichtheid van zoet water ~ 1000 kg/m<sup>3</sup>

Dichtheid van zeewater ~ 1025 kg/m<sup>3</sup>

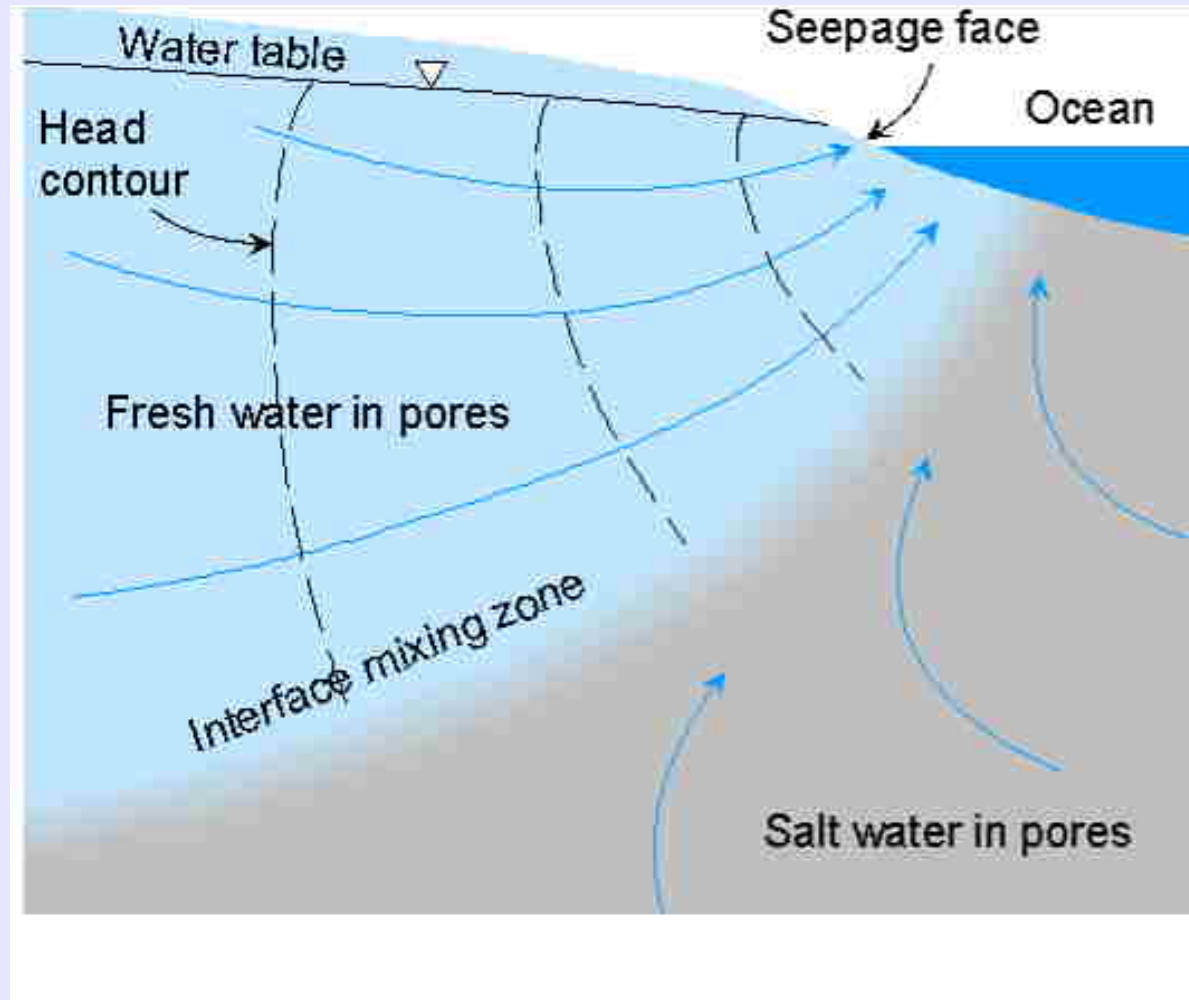
Zeewater bevat ~19 gram chloride per liter

Water smaakt al zoutig als er 0.25 gram chloride per liter in zit

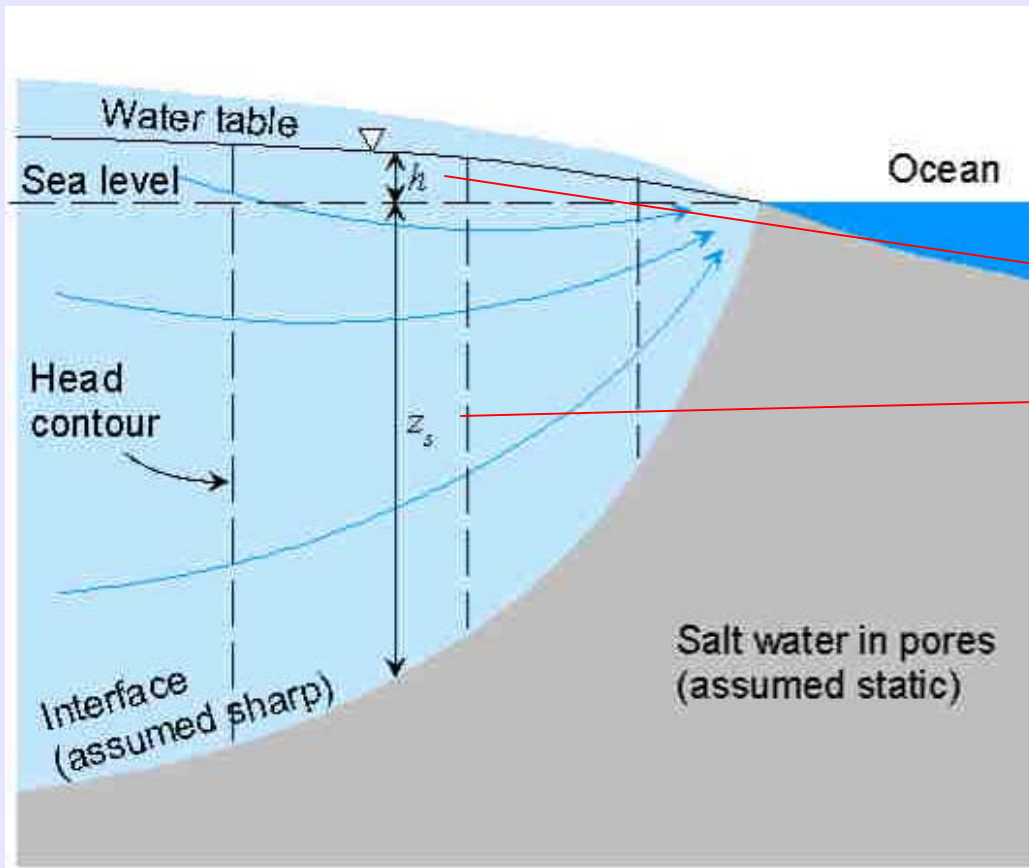
Dus een klein beetje zeewater bij het zoete water en je kunt het al niet meer drinken

(Je zou het natuurlijk kunnen ontzouten, maar dat is nog wel enigzins duur)

**Zoet water stroomt over zout water naar de kust**  
**Tussen het zoete en zoute water is een brakke overgangszone**



# De overgang tussen zoet en zout mag vaak geschematiseerd worden als een interface

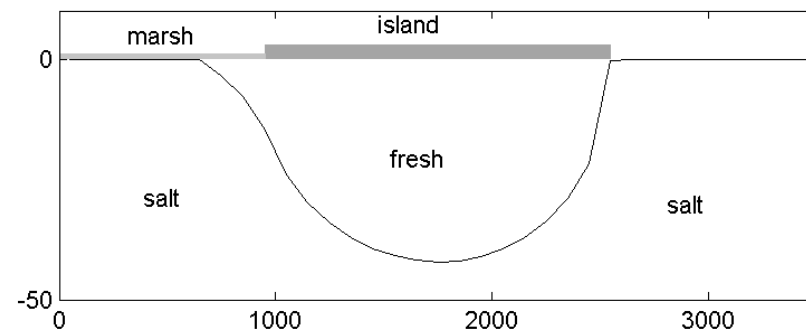
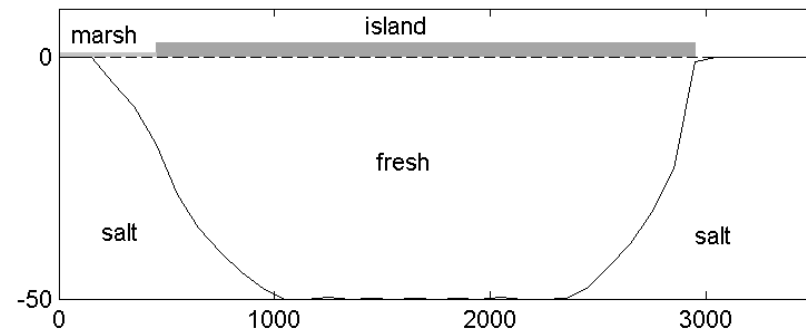
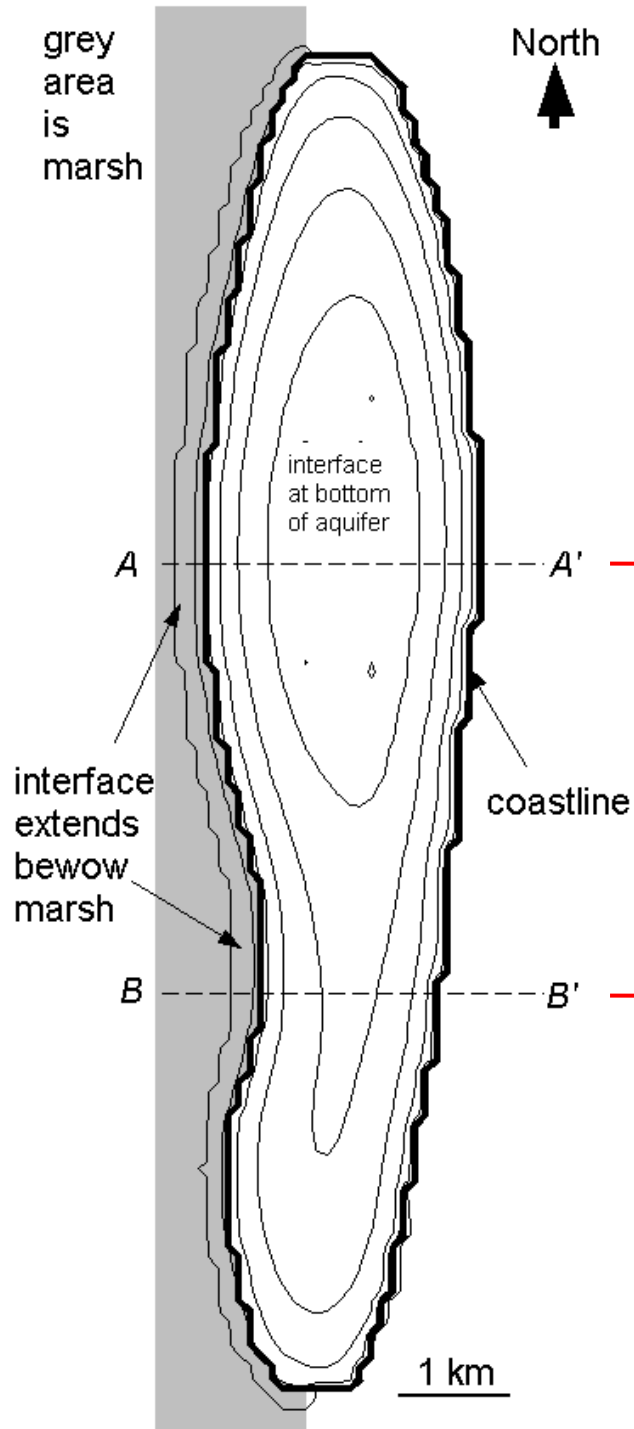


Ghyben-Herzberg  
formule:

$$z_s = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h$$

$$z_s \approx 40h$$

# Zoetwater bel onder een barrier island langs de kust van Georgia, USA

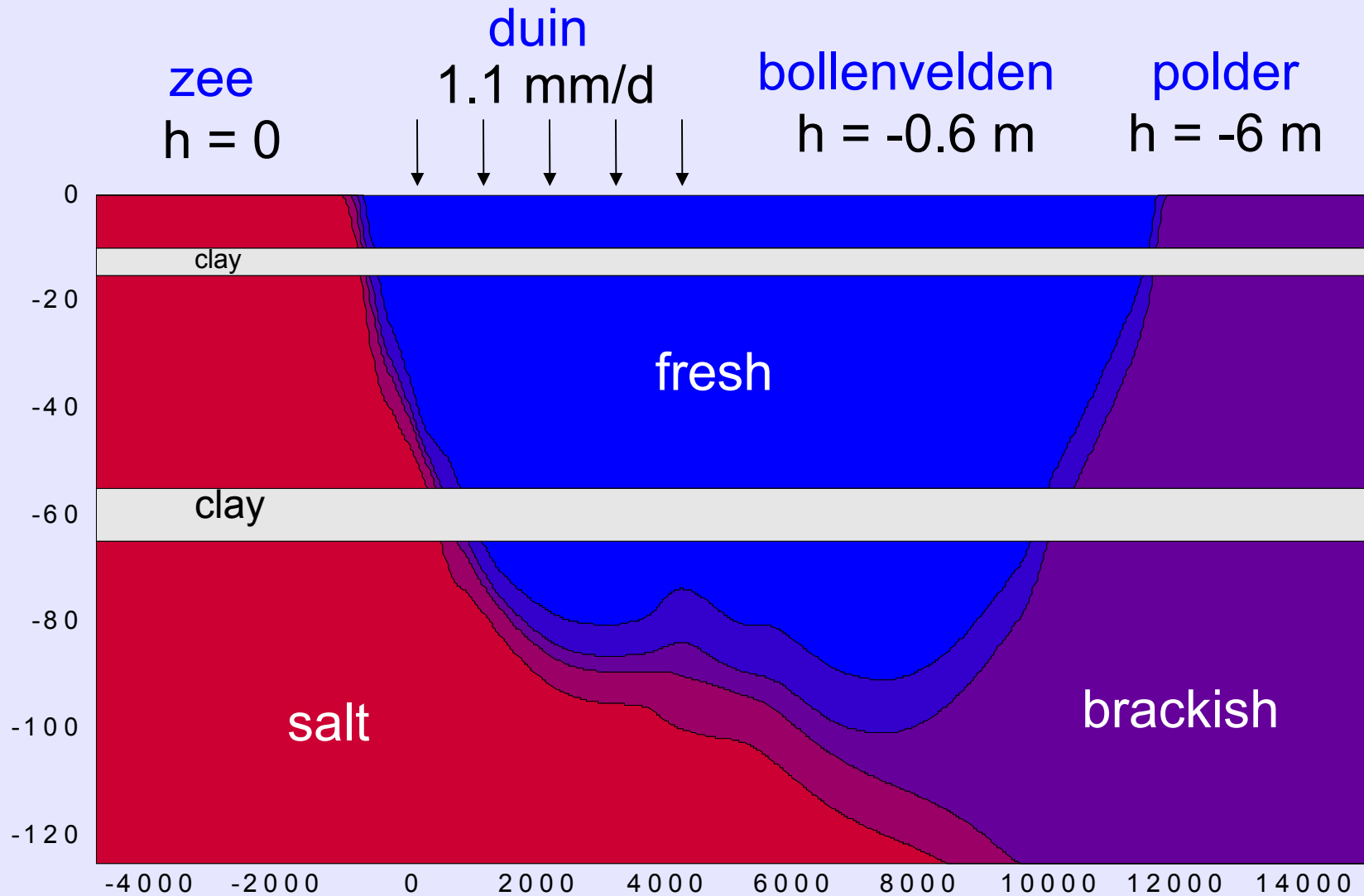


# Zeewaterintrusie in gebied van Amsterdamsche Drinkwater Maatschappij (nu: Waternet)

Doorsnede van  
het kustgebied



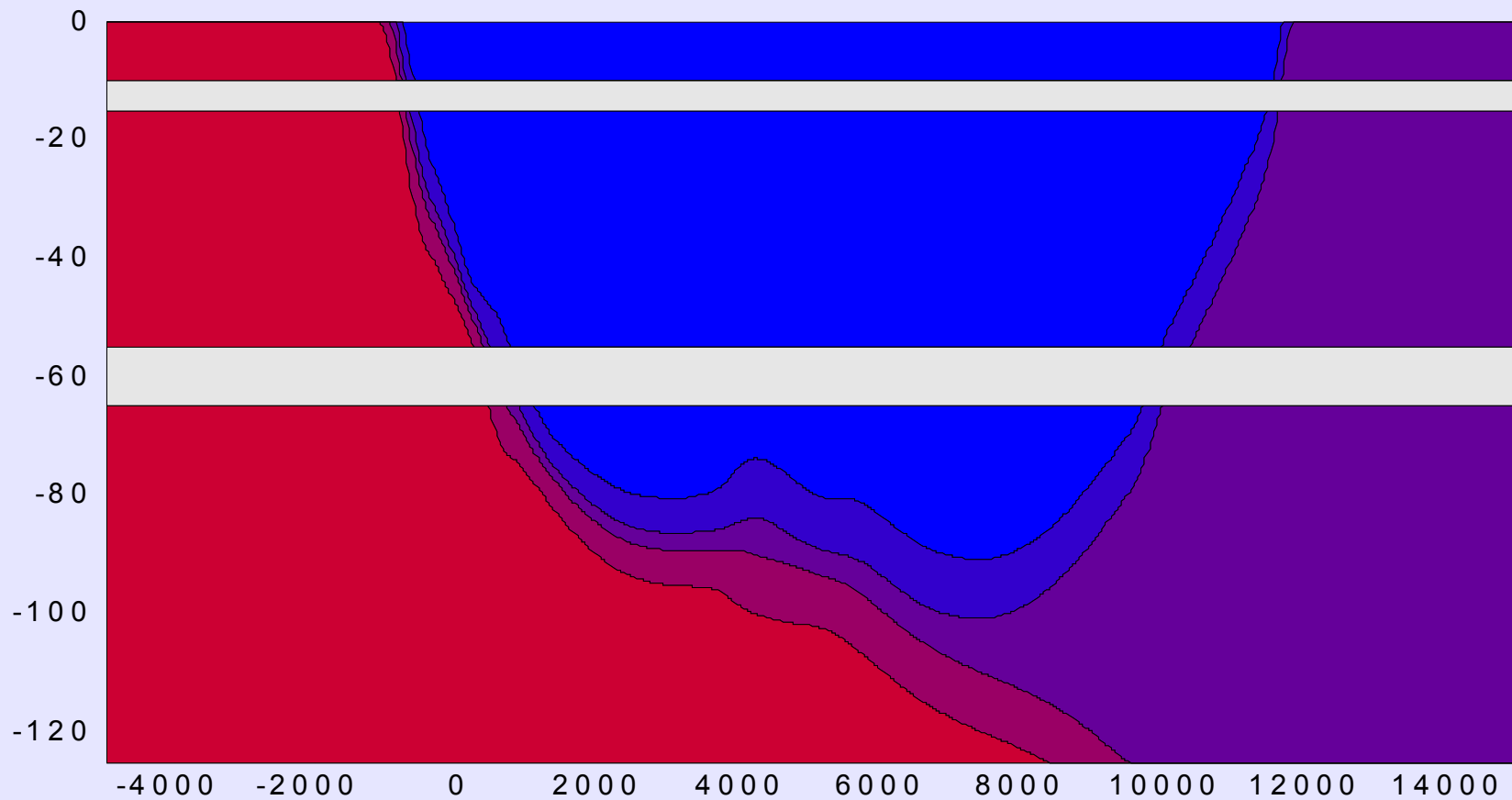
# Zout verdeling nabij kust: zoete bel onder het duin en brak water kwelt op in Haarlemmermeer



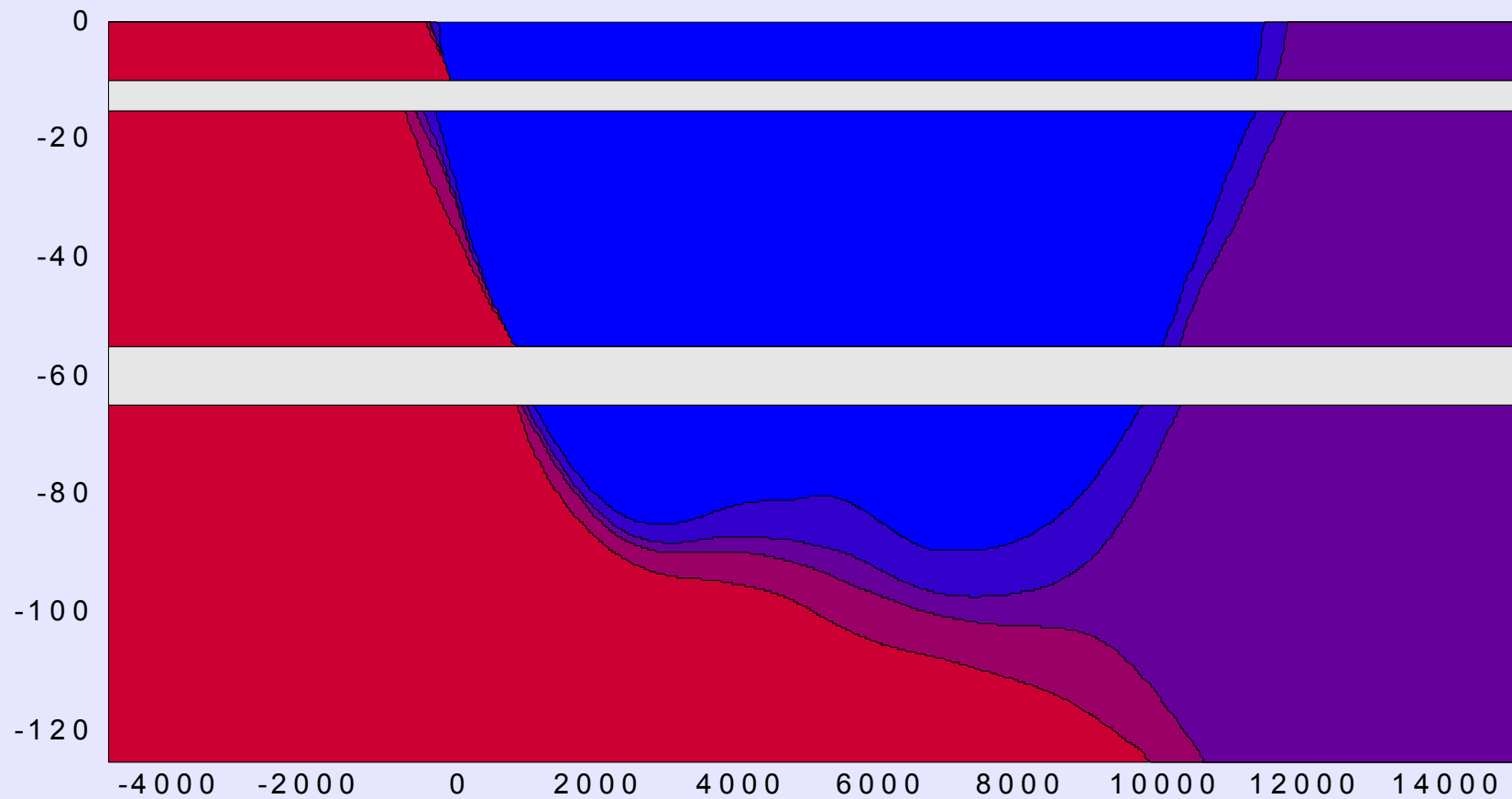
Data courtesy Amsterdam Water Supply



## Verandering van de zoutverdeling: 1980



# Verandering van de zoutverdeling: 2020



## Verandering van de zoutverdeling: 2060

