

Hydrology (CT2310)

dr. M. Bakker

Lezing 'Geohydrologie: tijdsafhankelijke stromen'



Geohydrologie, hoofdstuk 7

CT 2310



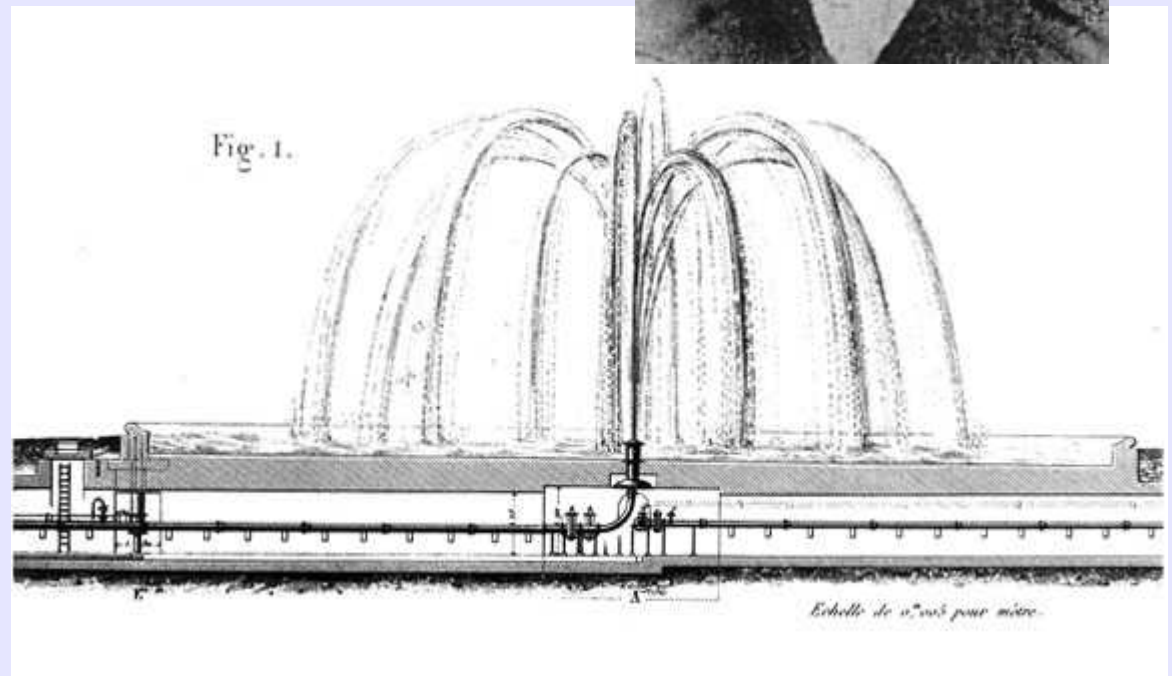
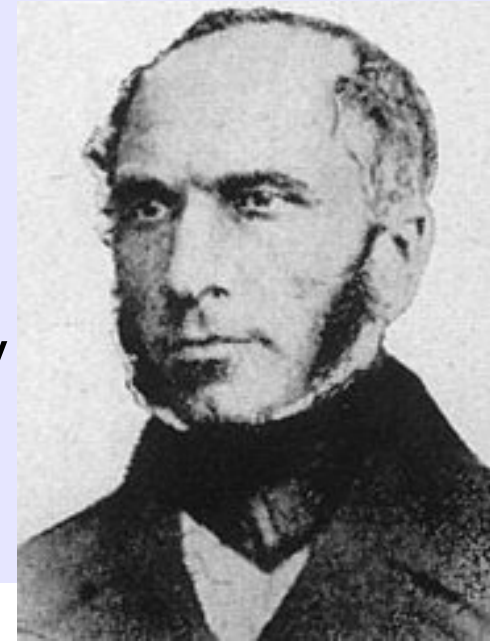
Mark Bakker

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

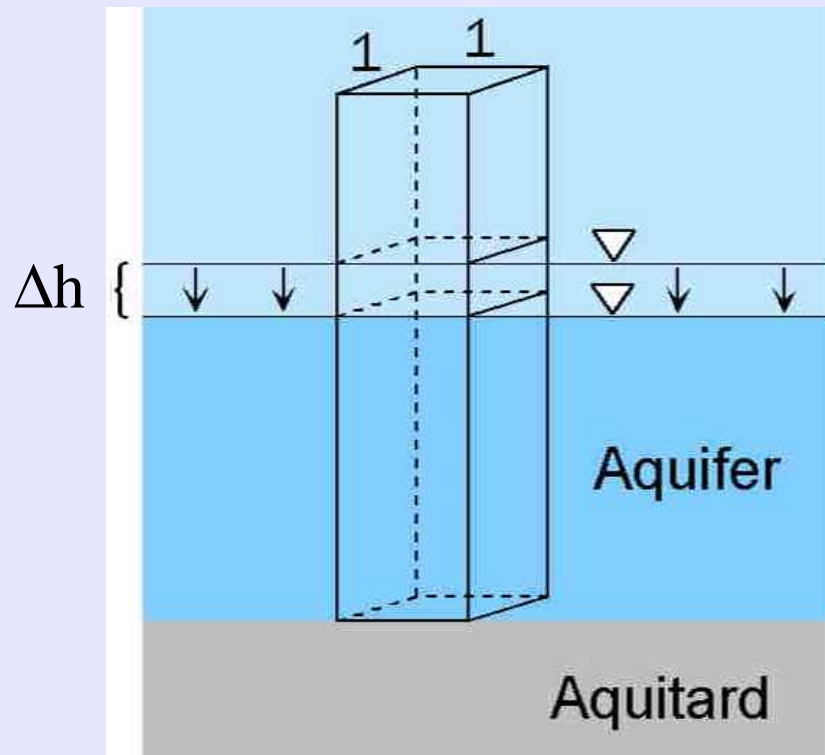
Room 4.92.1

Henry Darcy

Fountains of Dijon



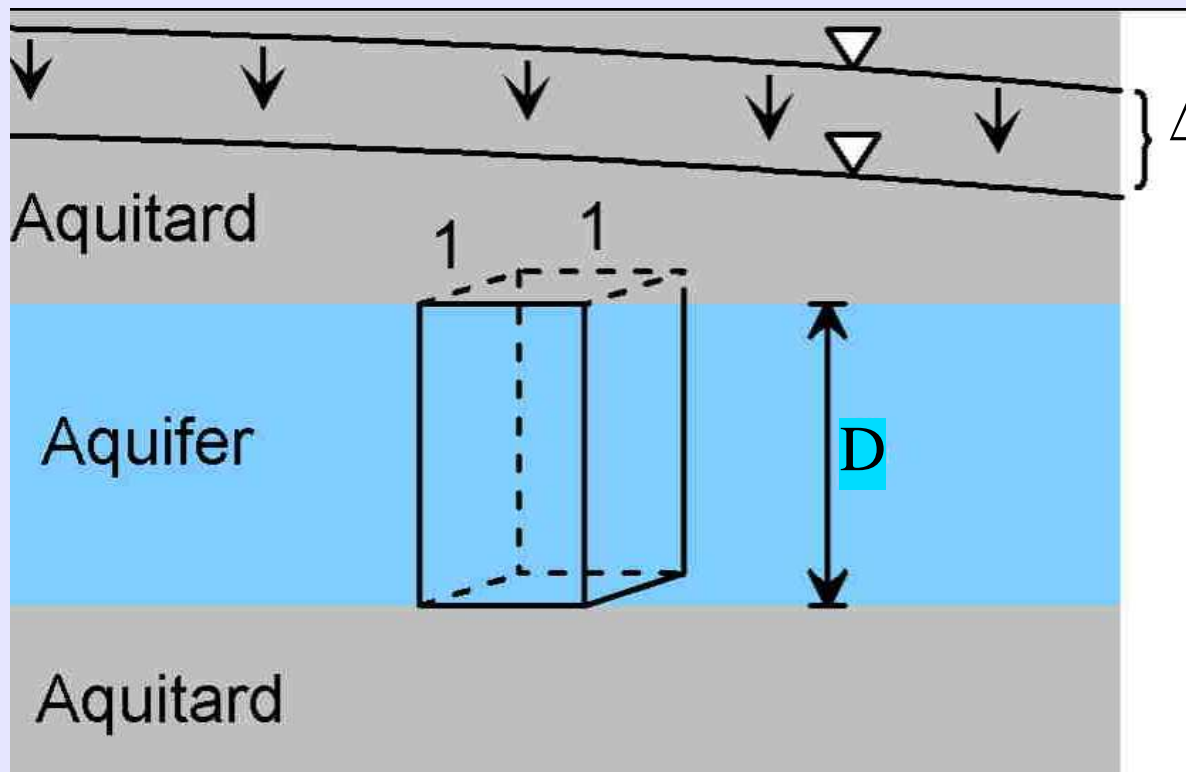
Berging: Als de grondwaterstand Δh meter zakt, welk volume ΔV komt er dan vrij uit een unconfined aquifer?



$$\Delta V = S_y \Delta h$$

S_y is de freatische bergingscoefficient en is kleiner dan de porositeit

Berging: Als de grondwater stand Δh meter zakt, welk volume ΔV komt er dan vrij in een confined aquifer (spanningswater)?



$$\Delta V = S_s D \Delta h$$

Specifieke
bergingscoefficient
 S_s is berging per meter
dikte

Bergingcoefficient:
 $S = S_s D$

Afleiding stromingsvergelijking voor tijdsafhankelijke stroming

Berging: $\Delta V = S\Delta h$

Met: $S = S_y$ (freatisch) en

$S = S_s D$ (spanningswater)

Volume balans over tijdsperiode Δt
in - uit = toename berging



(volg het bord hieronder)

Oplossing van Edelman

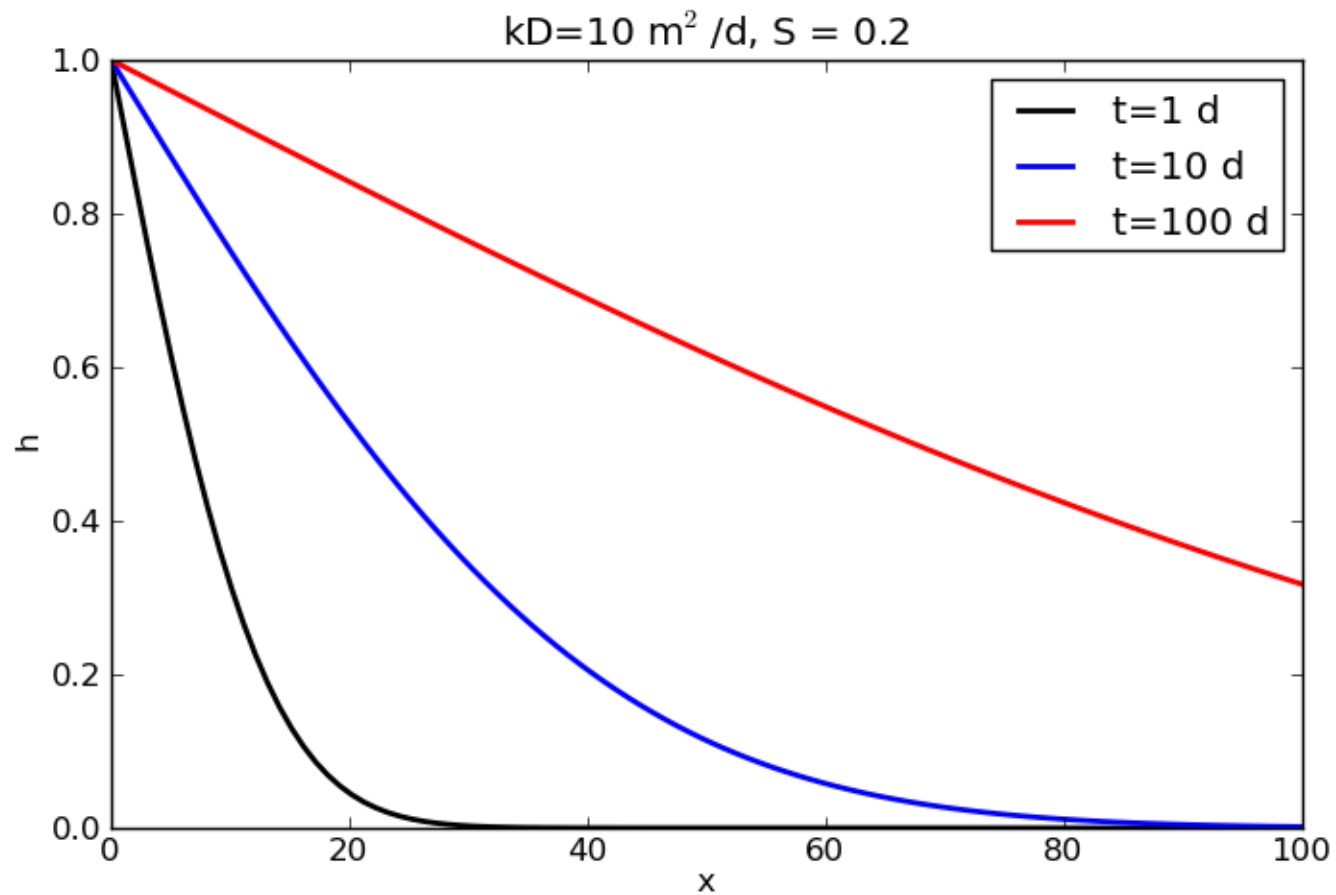
$$h(x, t) = \operatorname{erfc}(u) \quad \text{met } u = \sqrt{\frac{Sx^2}{4kD(t - t_0)}}$$

Complimentaire error functie:

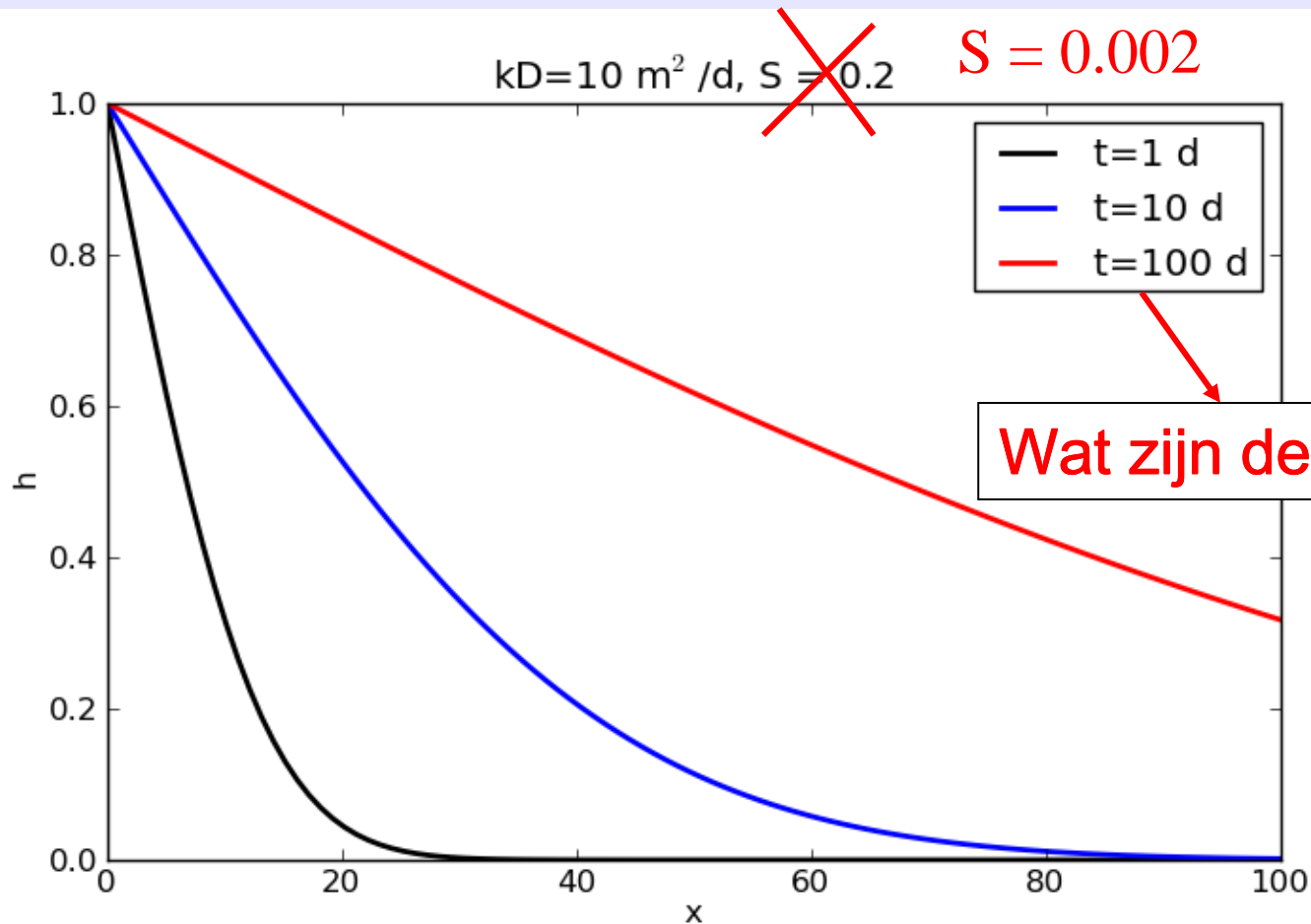
$$\operatorname{erfc}(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_u^{\infty} e^{-y^2} dy$$

Hoe ziet erfc er uit? → Wolframalpha

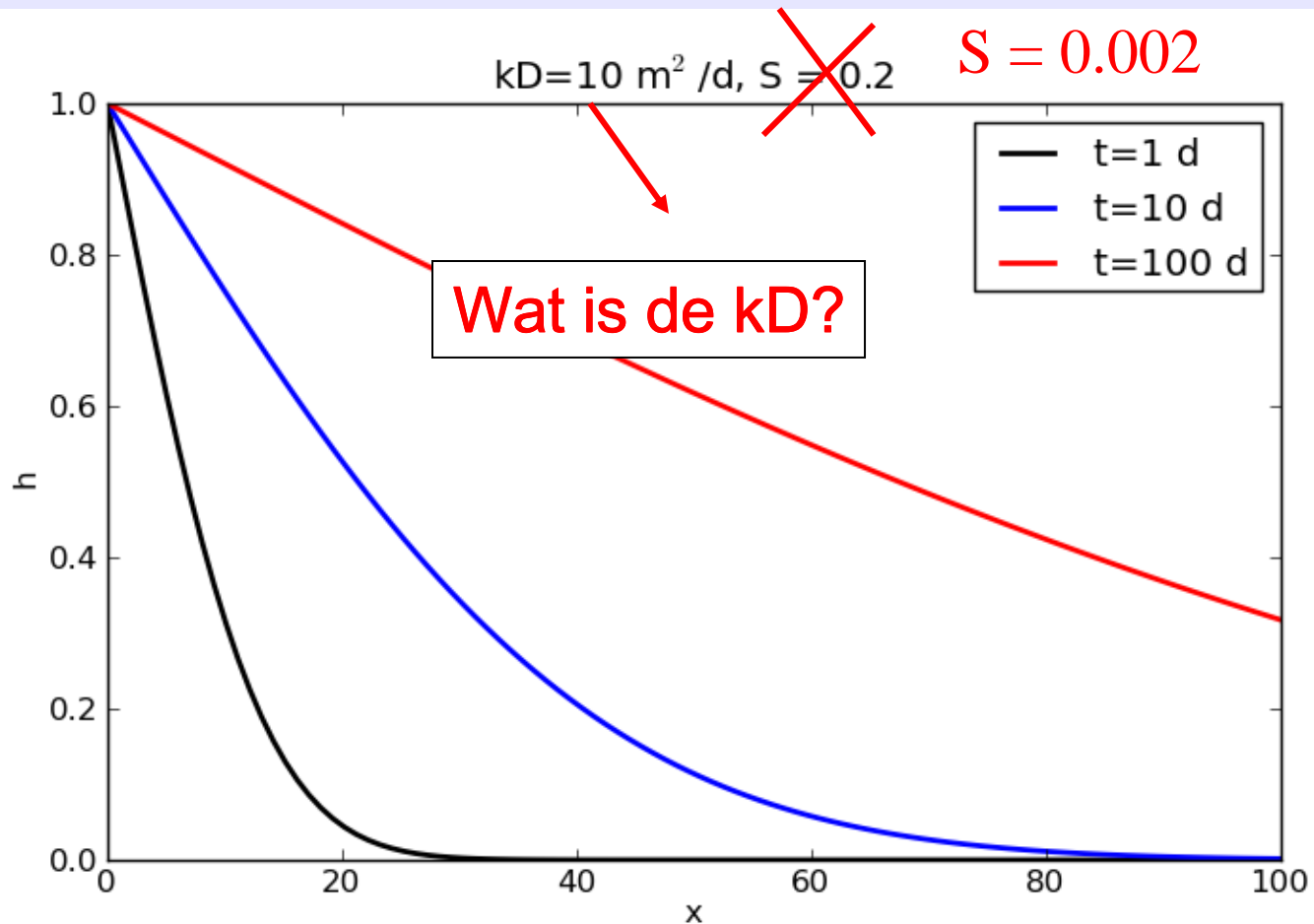
$$h(x, t) = \text{erfc}(u) \quad \text{met } u = \sqrt{\frac{Sx^2}{4kD(t-t_0)}}$$



$$h(x,t) = \text{erfc}(u) \quad \text{met } u = \sqrt{\frac{Sx^2}{4kD(t-t_0)}}$$



$$h(x,t) = \text{erfc}(u) \quad \text{met } u = \sqrt{\frac{Sx^2}{4kD(t-t_0)}}$$



Op welke afstand is de stijghoogteverhoging 1 cm na 1 dag?

Gegeven: $kD = 100 \text{ m}$, $S = 0.04$.

$$h(x, t) = \text{erfc}(u) \quad \text{met } u = \sqrt{\frac{Sx^2}{4kD(t - t_0)}}$$

Op welke afstand is de stijghoogteverhoging 1 cm na 1 dag?

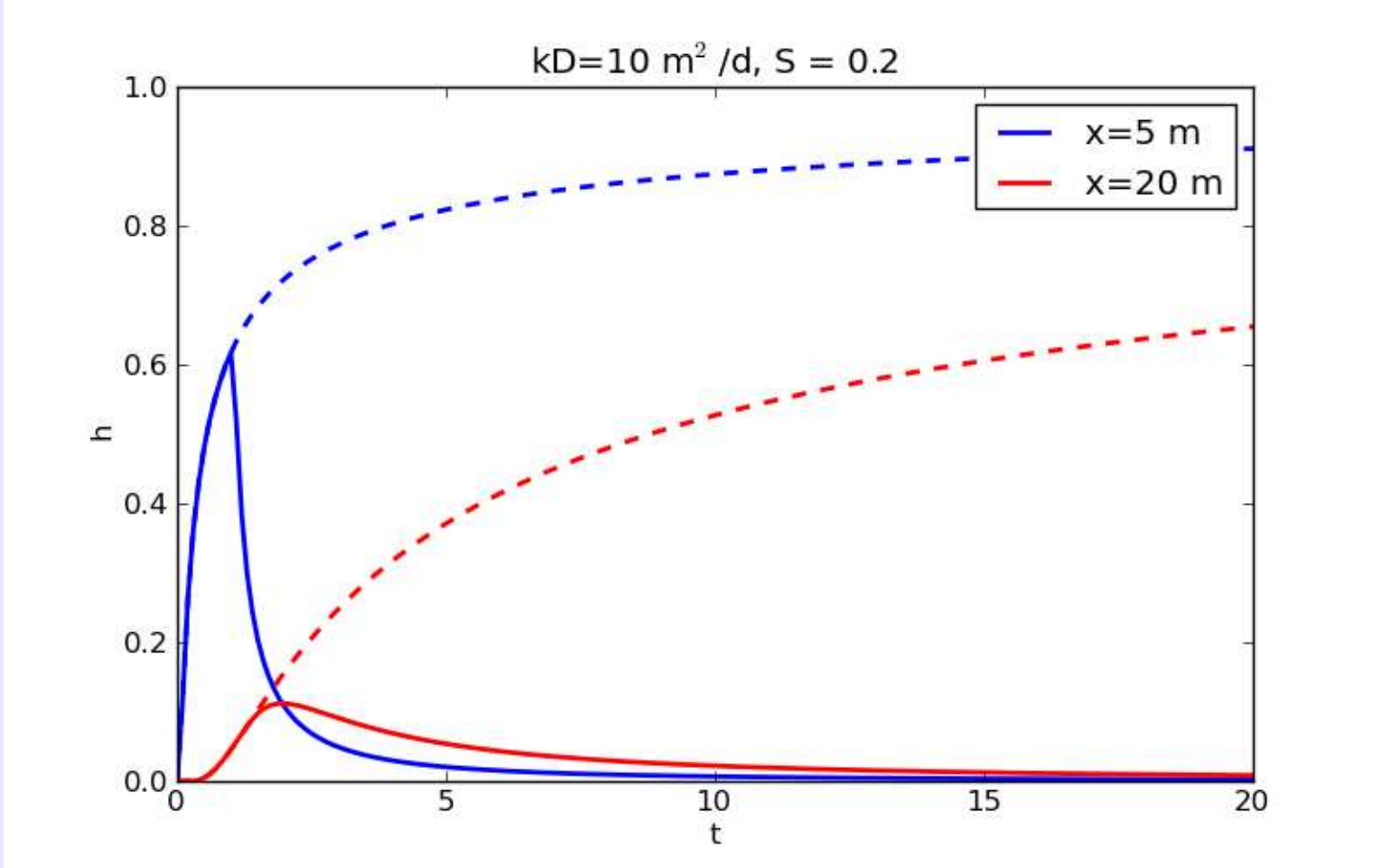
Gegeven: $kD = 100 \text{ m}$, $S = 0.04$

Wolframalpha geeft: $u = 1.82$

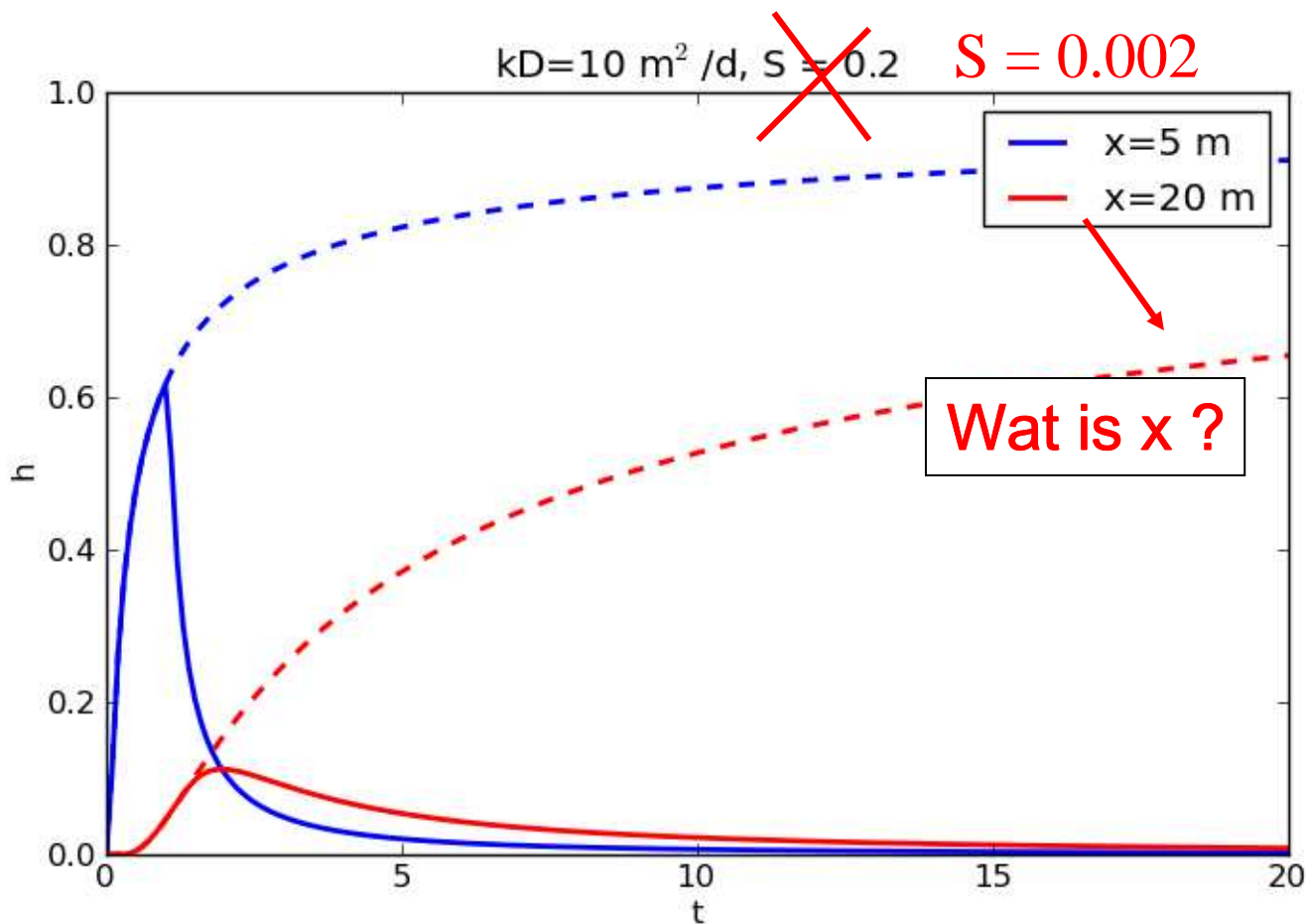
$$x = u \sqrt{\frac{4kDt}{S}}$$

Dus $x = 182 \text{ m}$

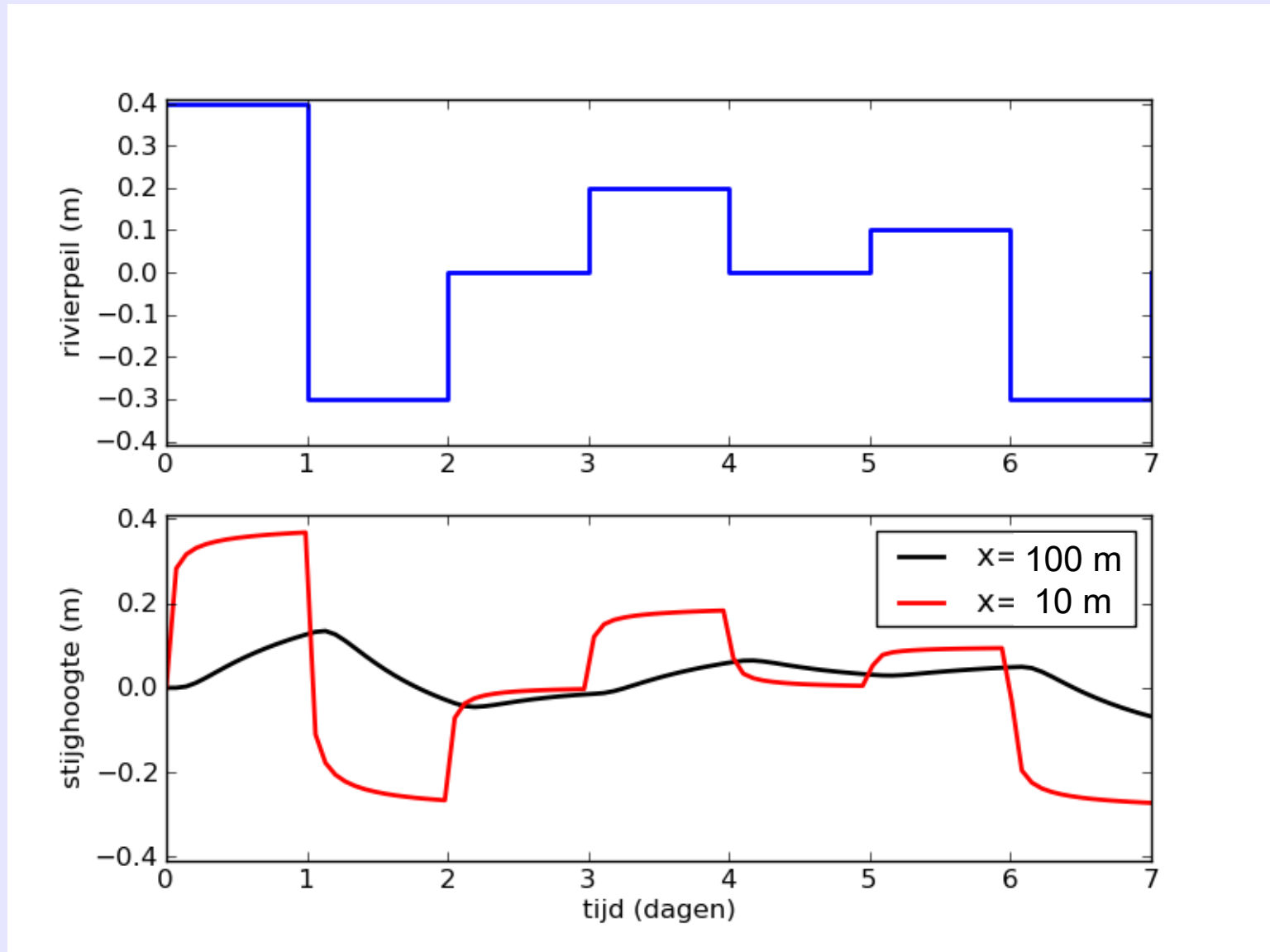
$$h(x, t) = \text{erfc}(u) \quad \text{met } u = \sqrt{\frac{Sx^2}{4kD(t - t_0)}}$$



$$h(x, t) = \text{erfc}(u) \quad \text{met } u = \sqrt{\frac{Sx^2}{4kD(t-t_0)}}$$

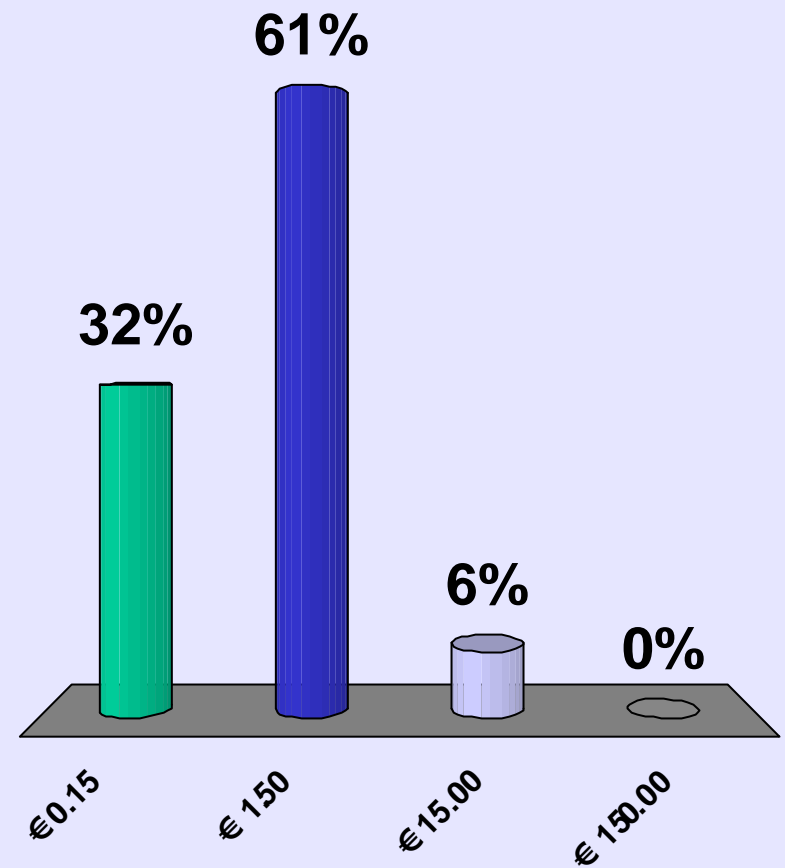


Met convolutie (superpositie in de tijd) kan het effect van een variabel rivierpeil berekend worden



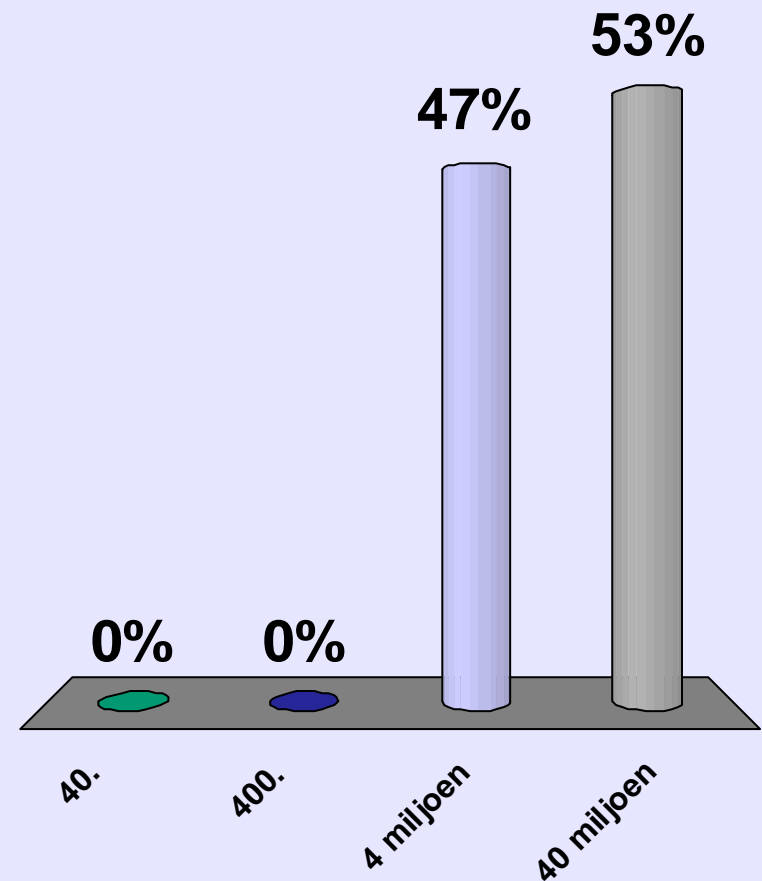
Wat kost duizend liter drinkwater?

1. € 0.15
2. € 1.50
3. € 15.00
4. € 150.00

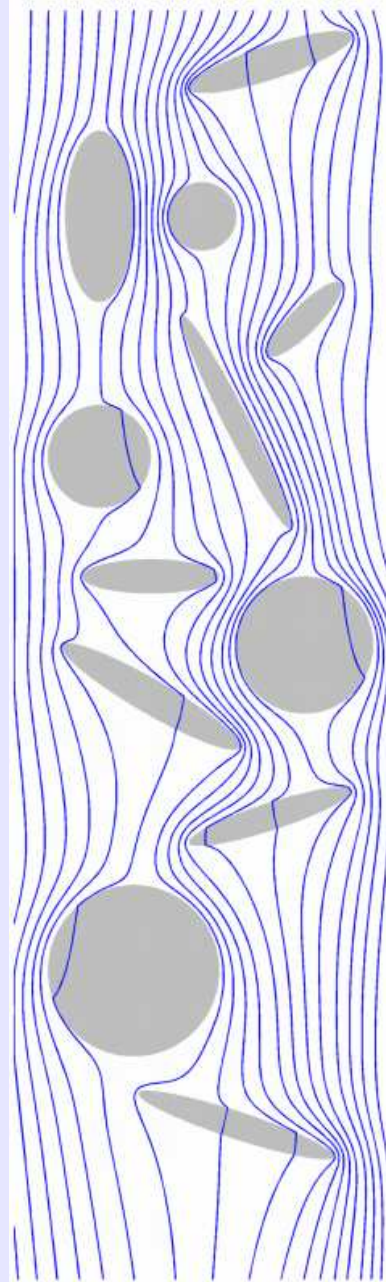


Hoeveel plastic waterflesjes worden er per dag weggegooid in de wereld? (data 2003, MSNBC)

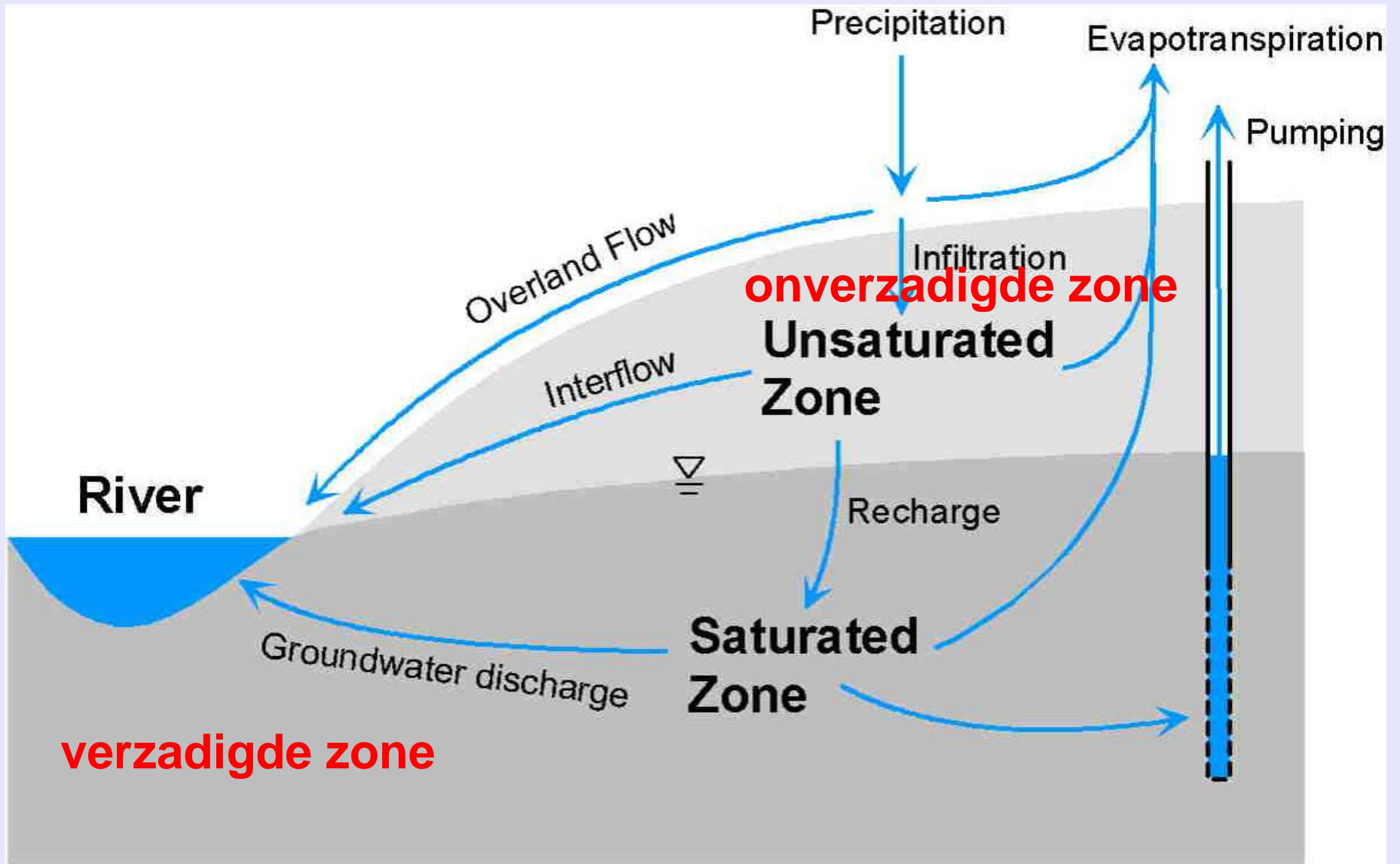
1. 40.000
2. 400.000
3. 4 miljoen
4. 40 miljoen



Stroming in de onverzadigde zone



Neerslag bereikt de verzadigde zone via de onverzadigde zone



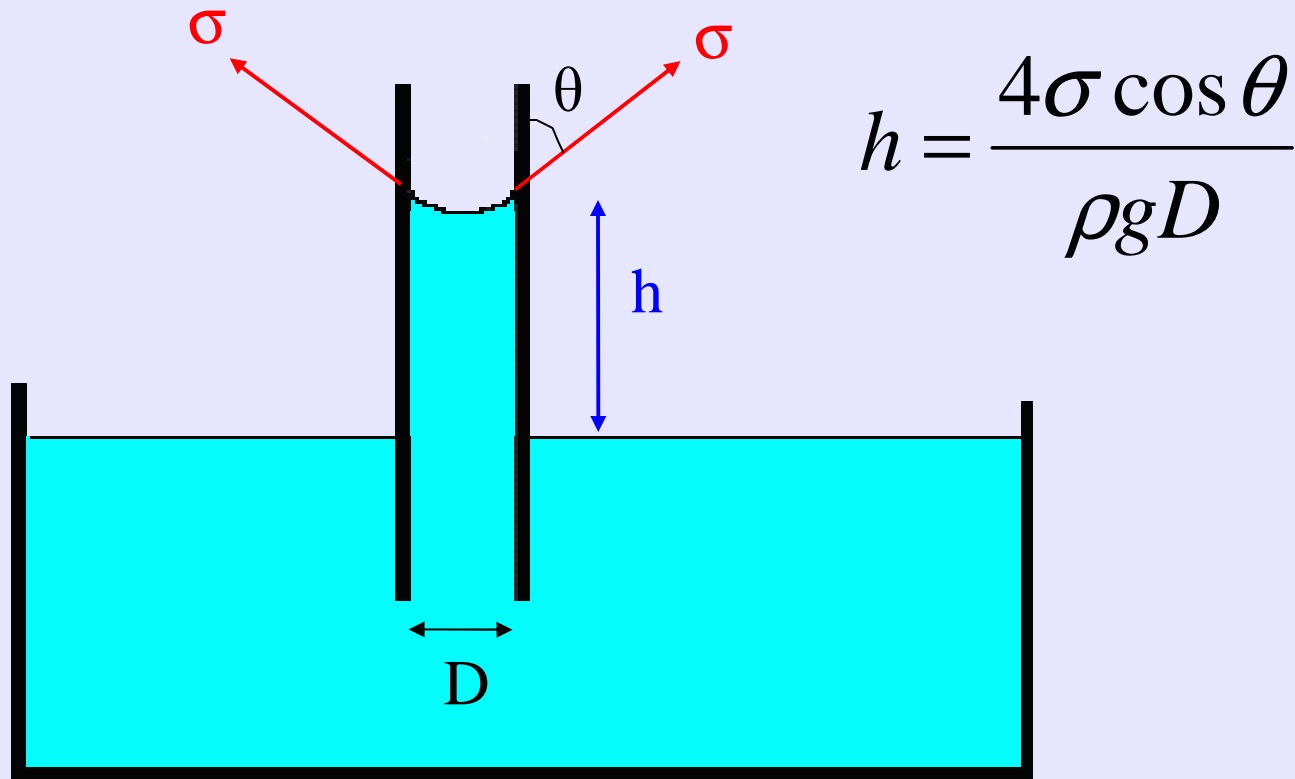
Capilaire opstijging:

Hoe kleiner de diameter, hoe hoger het water stijgt

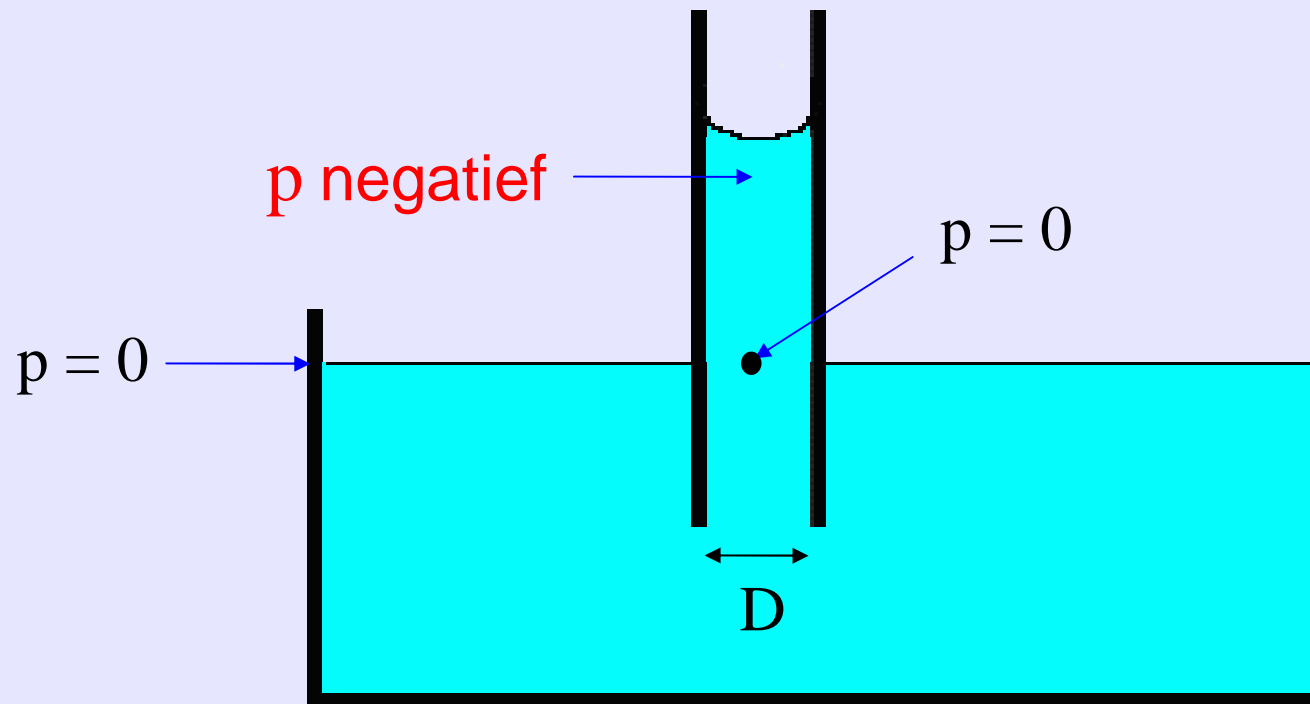


naald

Capilaire opstijging is een functie van de oppervlakte spanning en de dichtheid



De druk in het water in het buisje is negatief
(atmosferische druk is nul)



Verzadigingsgraad wordt aangegeven met S

$$S = \frac{V_{water}}{V_{porien}}$$

Varieert van:

0 (volledig droog)

1 (alle porien gevuld)

Bodemvochtgehalte wordt aangegeven met θ

$$\theta = \frac{V_{water}}{V_{grond}}$$

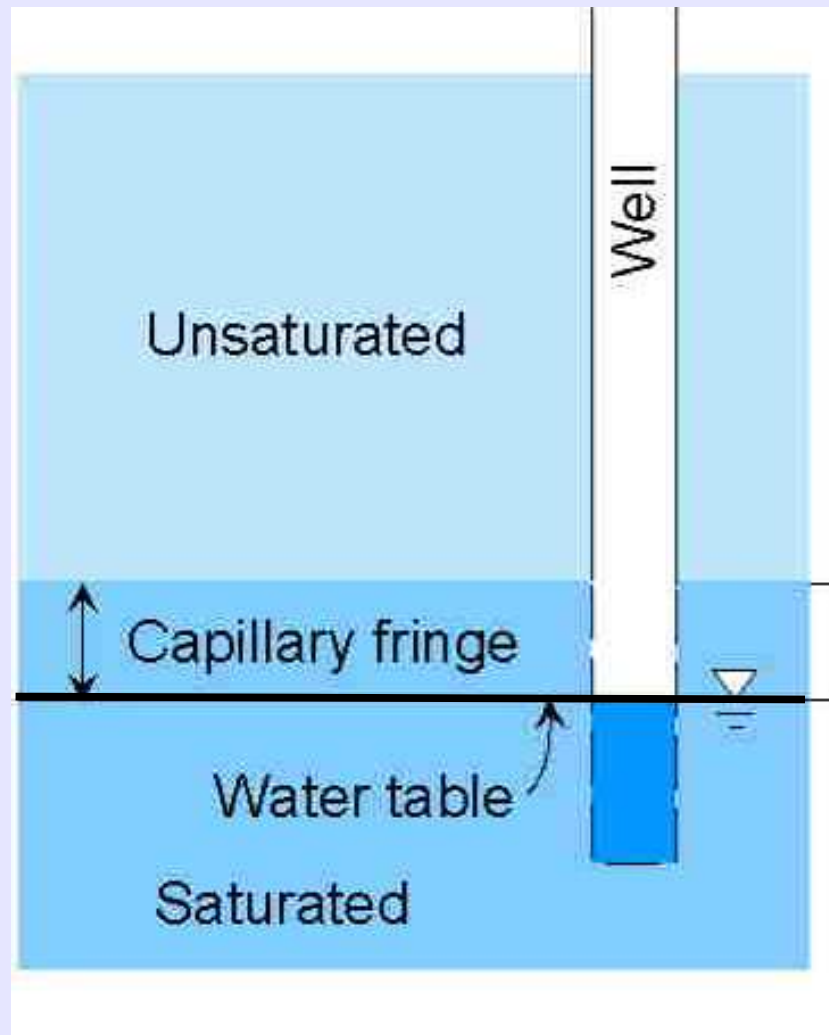
Varieert van:

0 (volledig droog)

n (porositeit, als alle porien gevuld)

En dus: $\theta = Sn$

Overall in het water boven de grondwaterspiegel is de druk negatief.

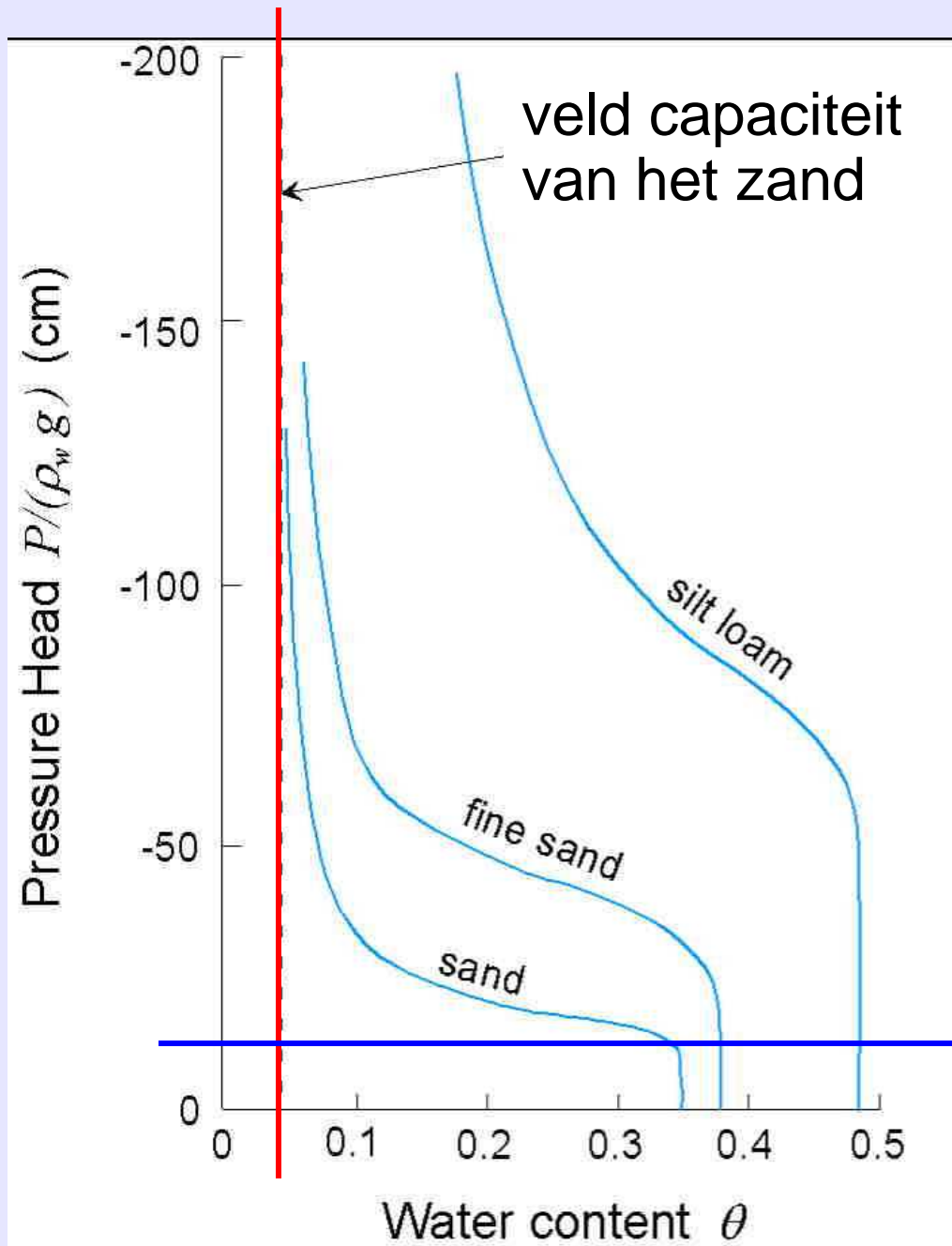


Porien nog volledig gevuld met water:

$$S = 1$$

$$\theta = n$$

Maar: druk al negatief!



water dat blijft hangen in het zand tegen de zwaartekracht in

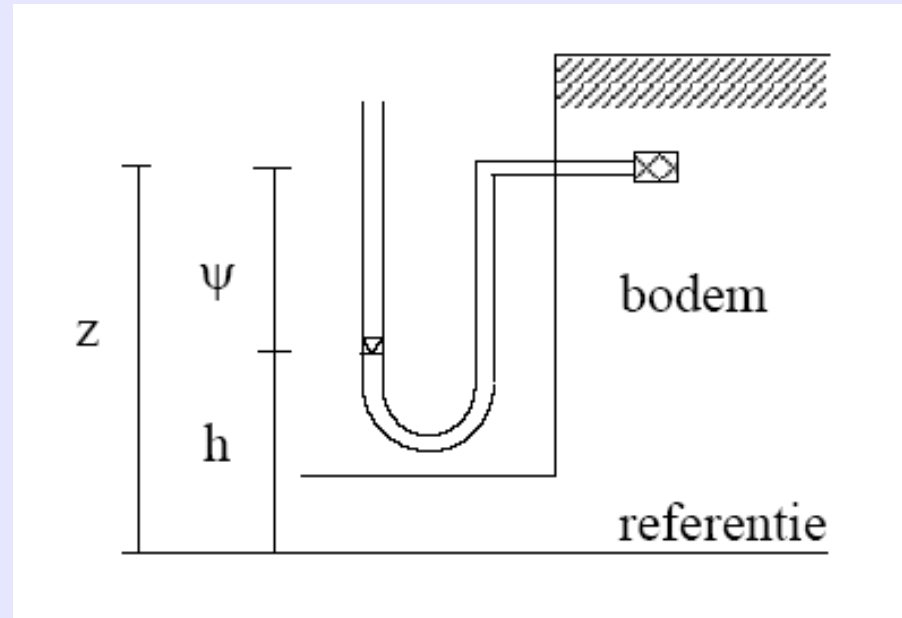
planten kunnen water onttrekken tot ongeveer $p/(\rho g) = -16$ m

capilaire fringe

Stijghoogte is plaatshoogte plus drukhoogte, maar in de onverzadigde zone is **drukhoogte negatief**

$$h = z + \frac{p}{\rho g} = z + \psi$$

ψ is drukhoogte



Tensiometer

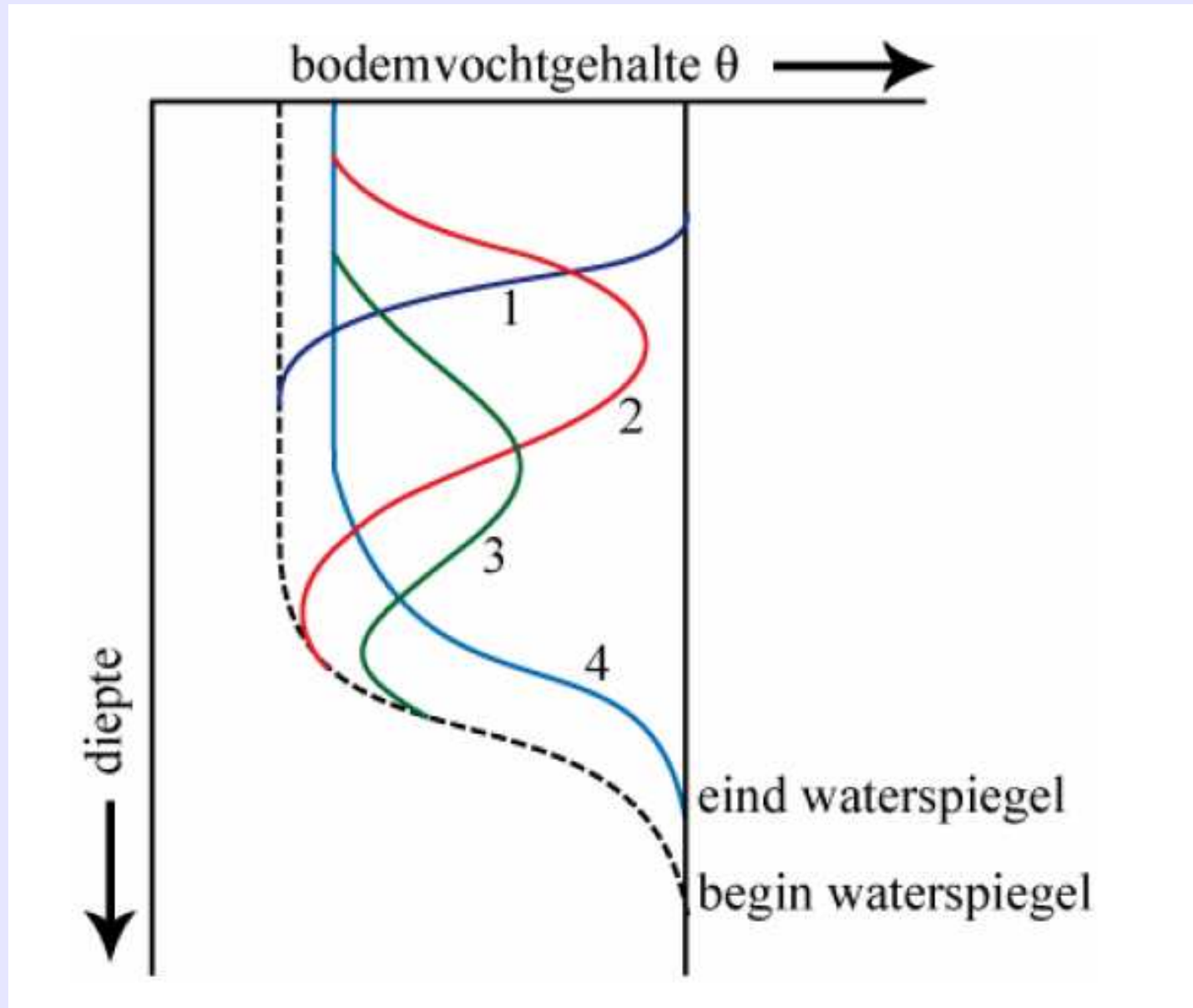
Meten van
negatieve druk
(lager dan atmosferisch)

Tensiometer

Poreus porselein



Bodemvochtgehalte na een pulse van infiltratie



Als het bodemvochtgehalte (en dus de verzadigingsgraad) afnemen, neemt ook de doorlatendheid af

$$K = K(\theta)$$

Stroming wordt nog steeds beschreven met Darcy

$$q_z = -K(\theta) \frac{\partial h}{\partial z}$$

En dus stroomt water van hoge naar lage stijghoogte

Stijghoogte is nog steeds

$$h = \frac{p}{\rho g} + z$$

Voorbeeld



Gegeven:

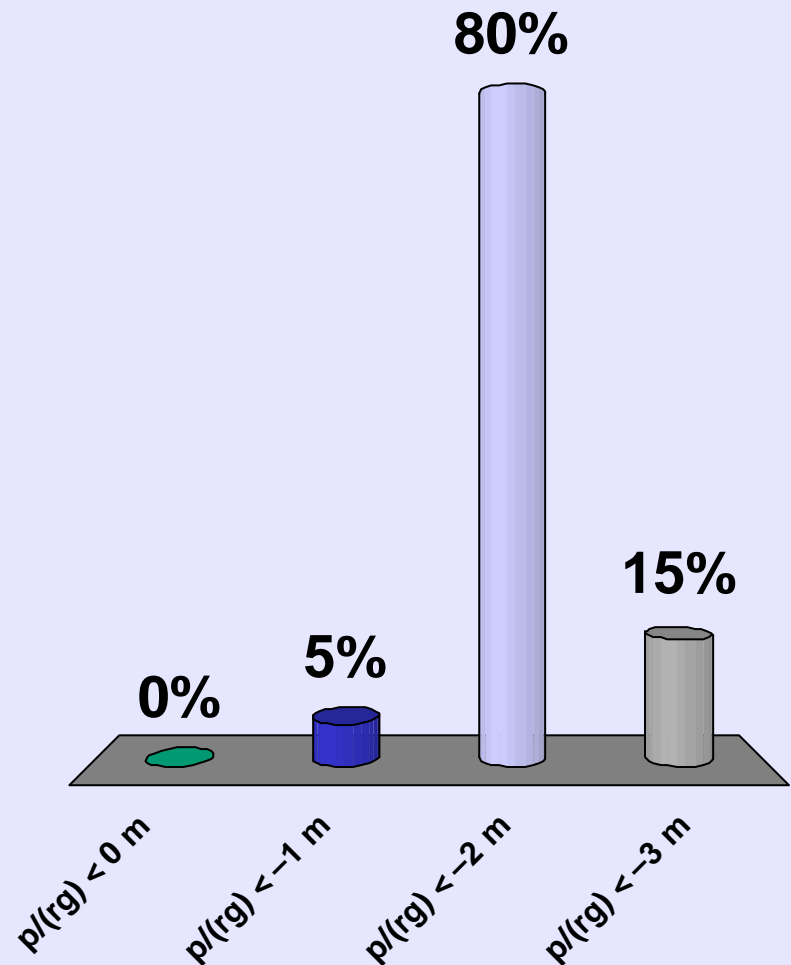
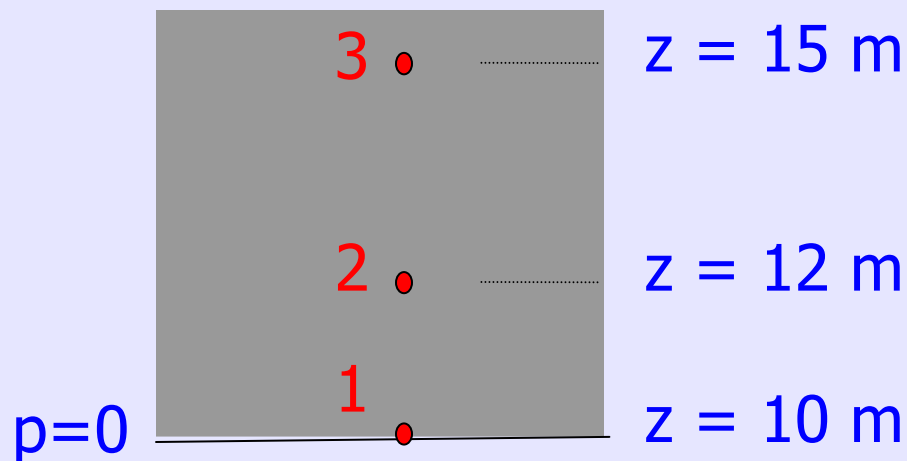
Drukhoogten in de punten 2, en 3 zijn respectievelijk: -1 m en -3 m.

Vragen:

- Vindt er percolatie of capillaire opstijging plaats?
- Hoe laag moet de druk in punt 2 zijn om capillaire opstijging te laten plaatsvinden?

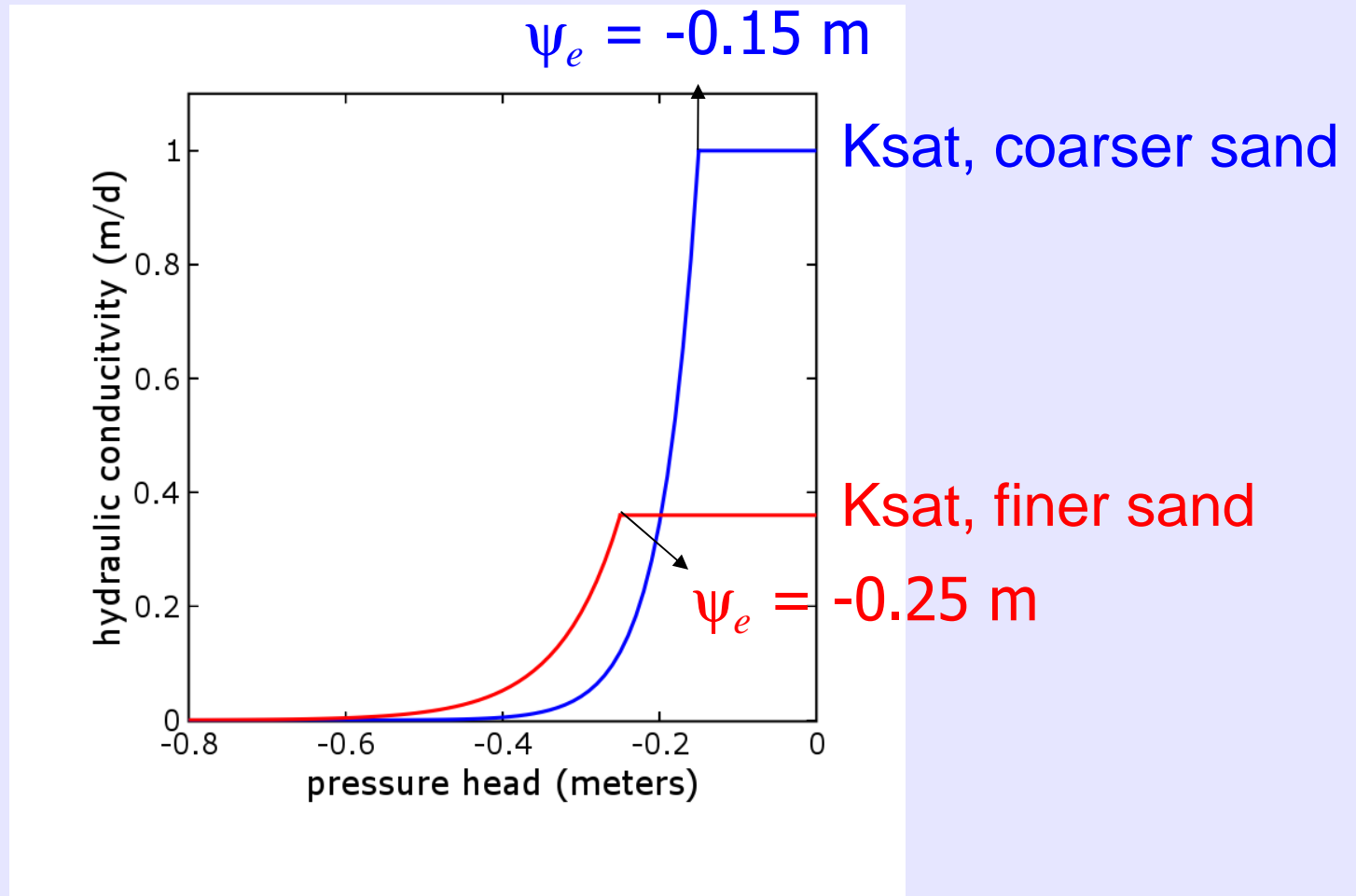
Hoe laag moet de druk in punt 2 zijn om capillaire opstijging te laten plaatsvinden?

1. $p/(\rho g) < 0$ m
2. $p/(\rho g) < -1$ m
3. $p/(\rho g) < -2$ m
4. $p/(\rho g) < -3$ m

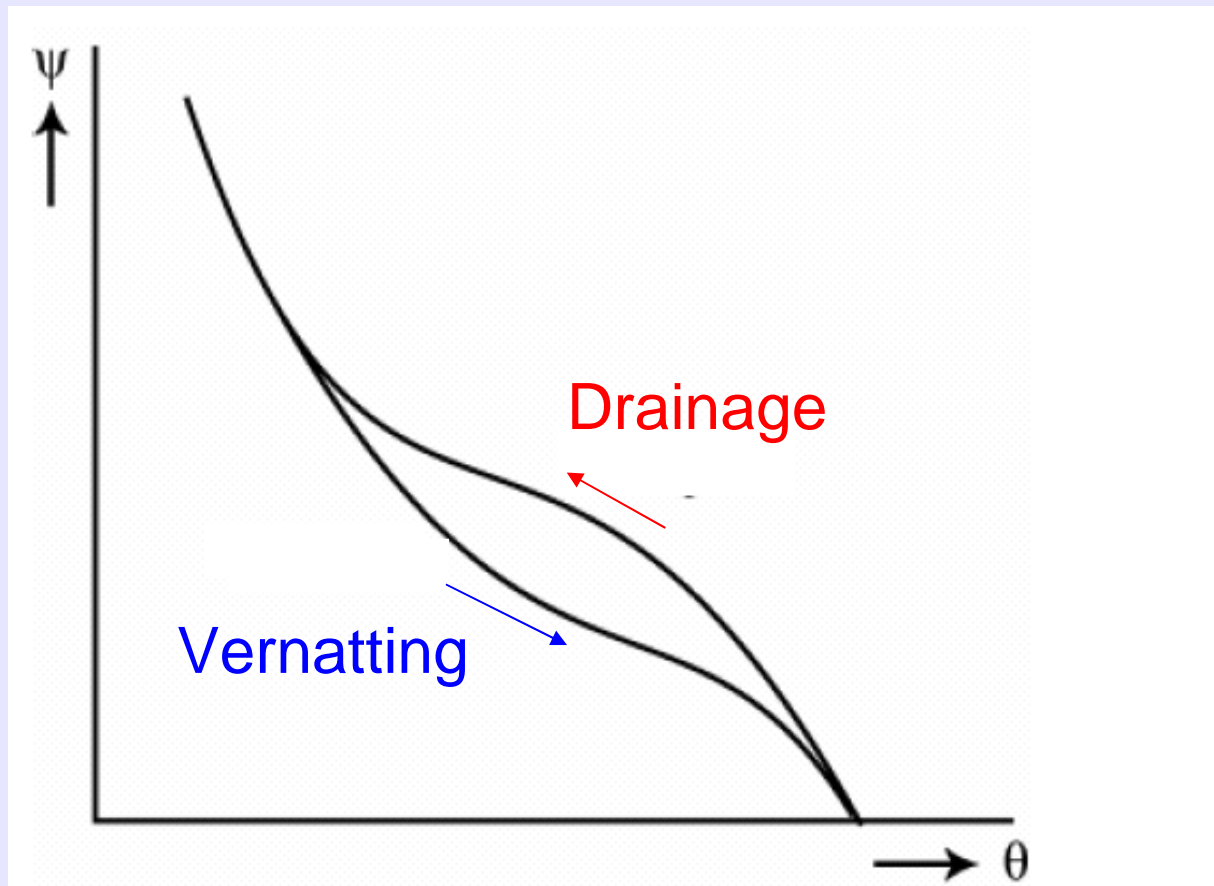


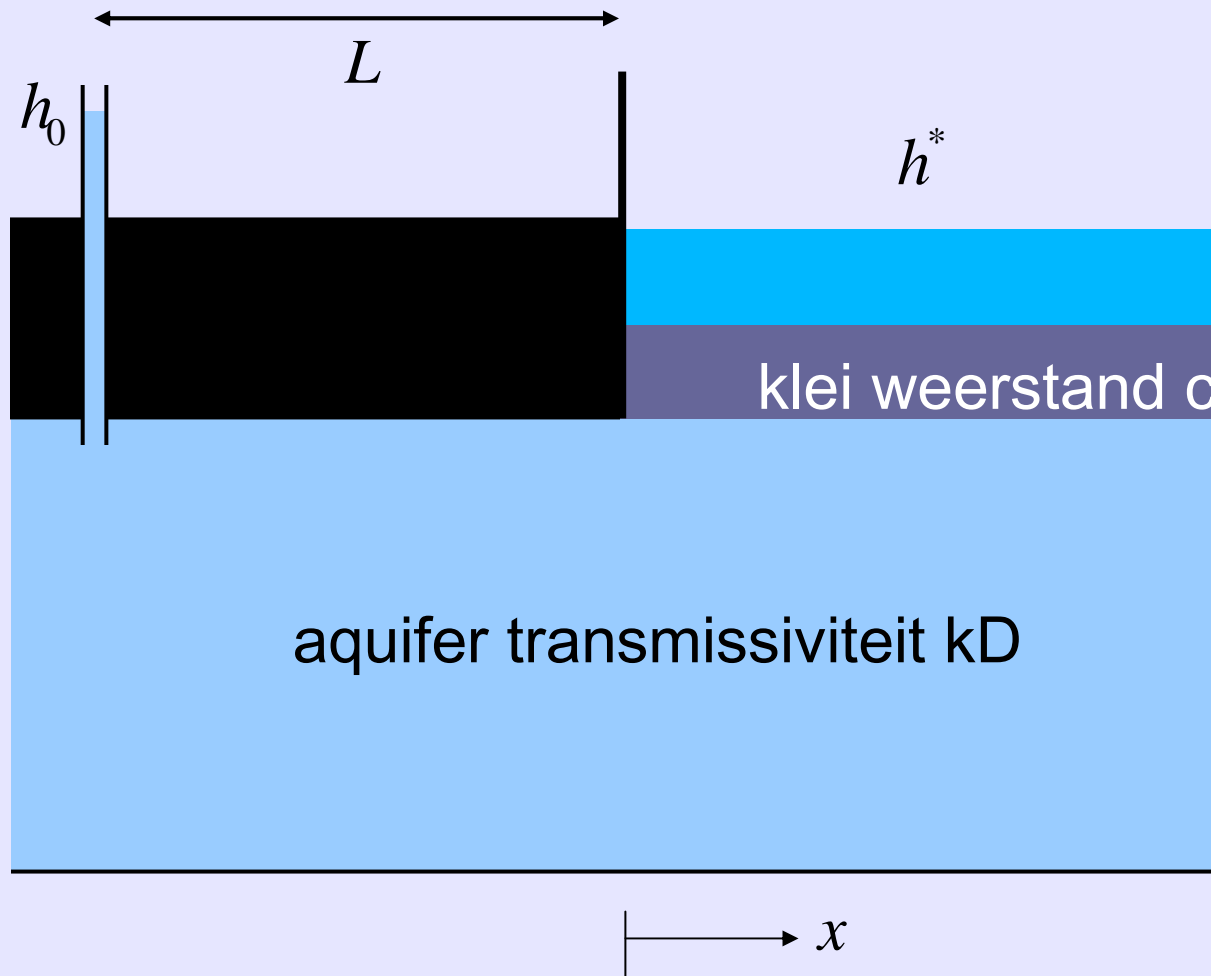
Doorlatendheid neemt af met de drukhoogte.
In de onverzadigde zone, is de K van **fijnkorrelig materiaal** vaak groter dan de K van **grofkorrelig materiaal**

ψ_e is de 'airentry' drukhoogte; de negatieve druk die nodig is om lucht in de grond te laten



Hysteresese: Tijdens drainage volgt het vochtgehalte een andere curve dan tijdens vernatting





Vragen:

- Wat is het debiet naar het meer als $c = 0$
- Wat is het debiet naar het meer als $c > 0$

Stroomt het grondwater naar links of naar rechts?

1. Rechts
2. Links

