

# Hydrology (CT2310)

dr. M. Bakker

Lezing 'Geohydrologie'



**Blof**

**Harder Dan Ik Hebben Kan**

Het regent harder dan ik hebben kan

Harder dan ik drinken kan

Het regent harder dan de grond aan kan

Harder dan ik hebben kan

# Geohydrologie

## CT 2310

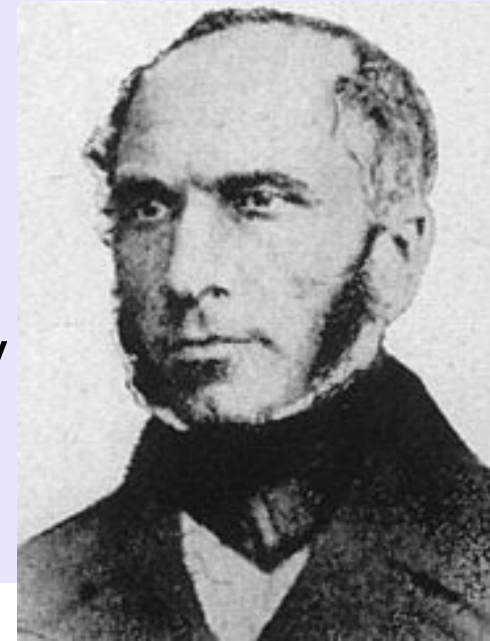


**Mark Bakker**

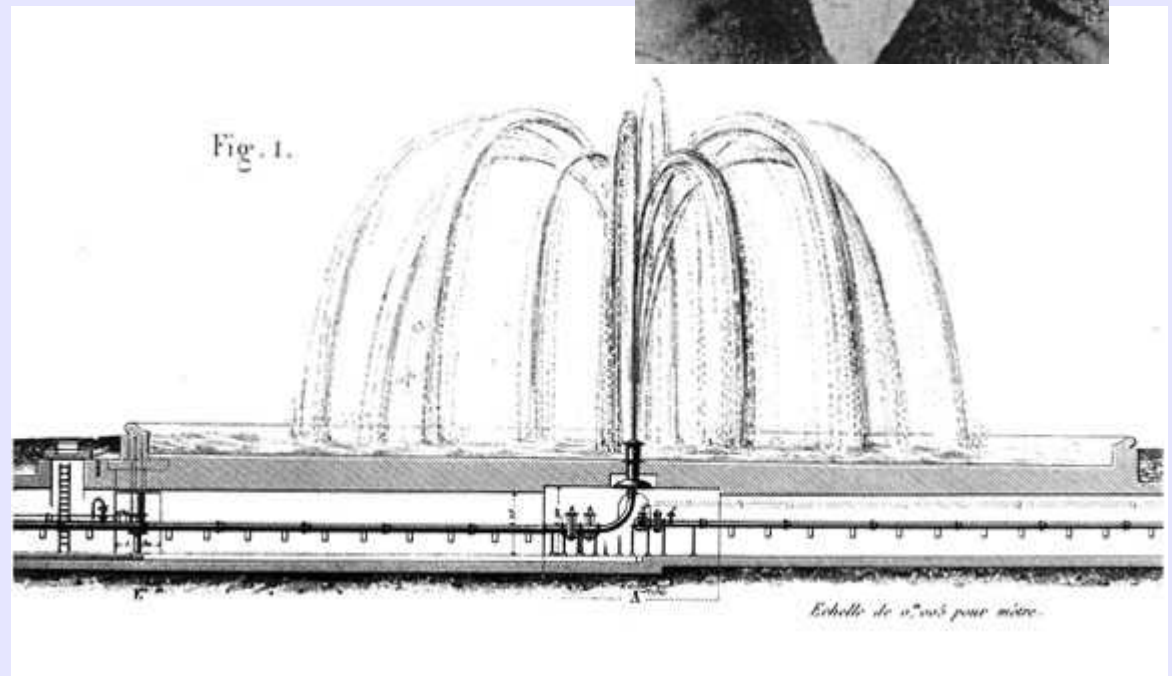
**Water Resources Section  
Civil Engineering, TU Delft  
mark.bakker@tudelft.nl**

**Room 4.92.1**

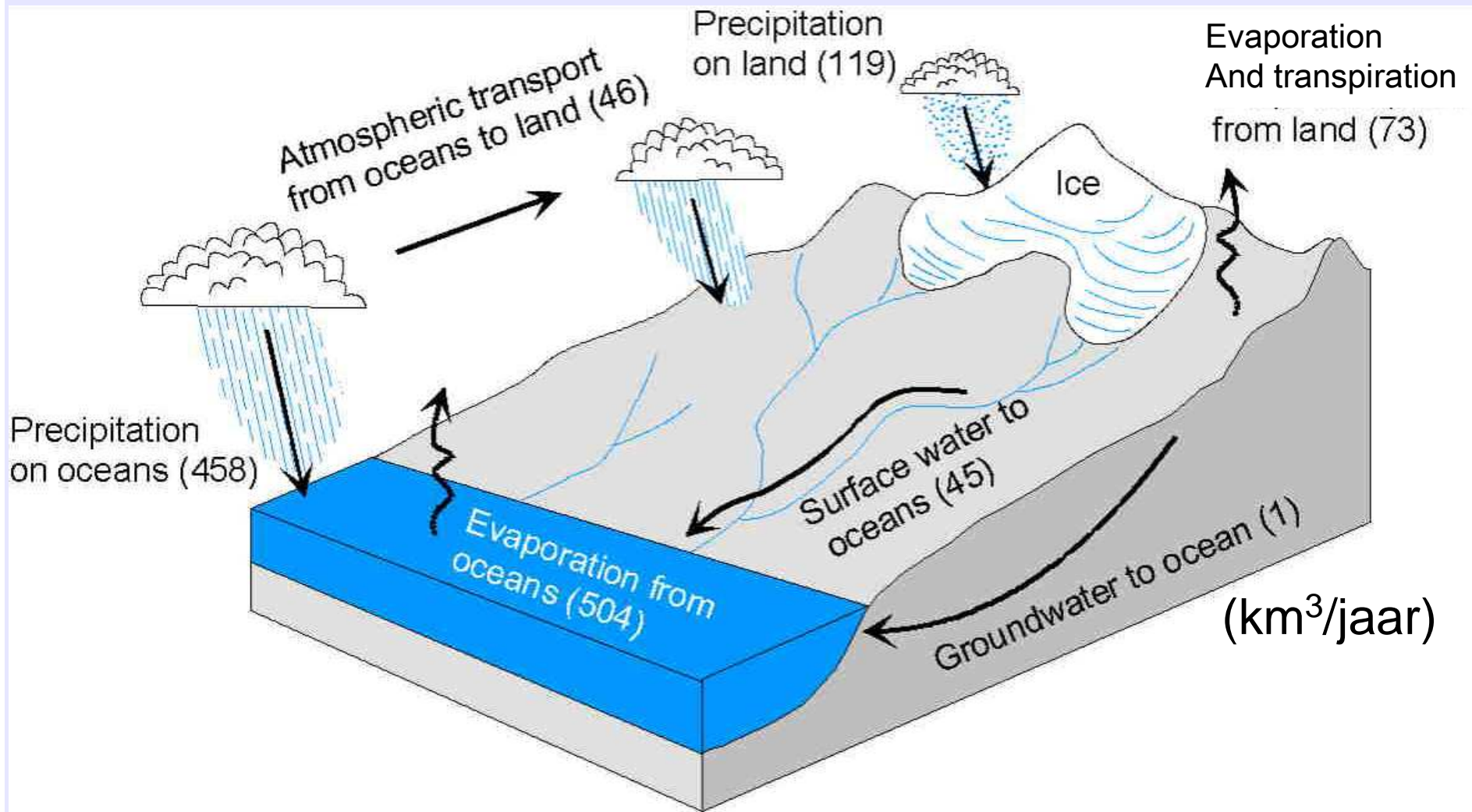
Henry Darcy



Fountains of Dijon

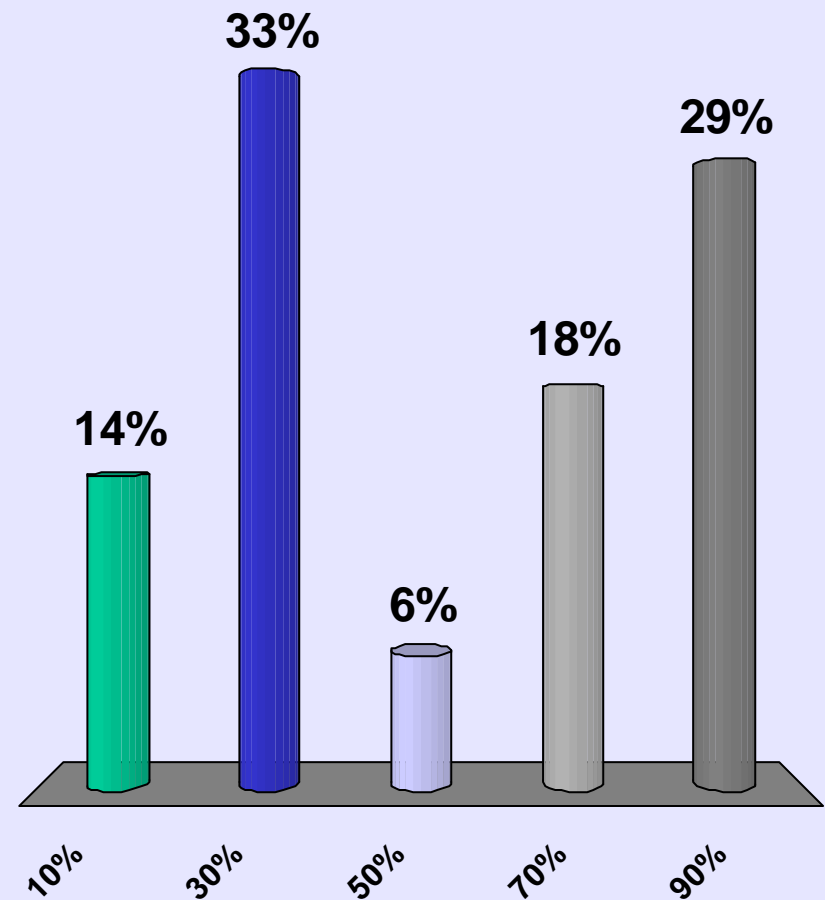


# Een belangrijk deel van de neerslag wordt afgevoerd via het grondwater



# Welk percentage van het zoete water op aarde zit in het grondwater?

1. 10%
2. 30%
3. 50%
4. 70%
5. 90%

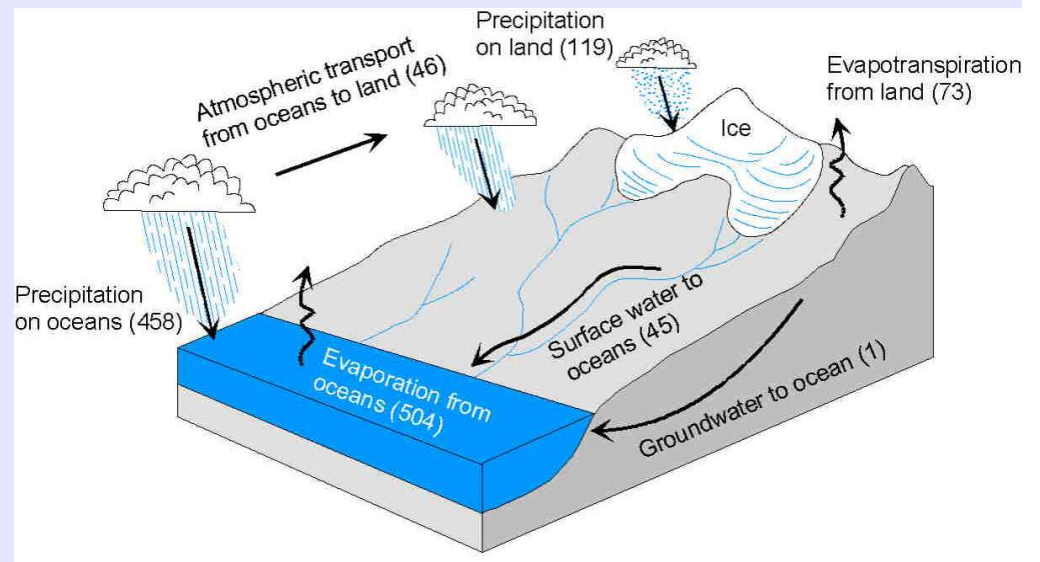


## Verdeling zoet water op aarde

69.6% (en dalende) ijs en sneeuw

30.1% grondwater

0.3% rivieren en meren





# Grondwater wordt gebruikt voor drinkwater, industrie, en landbouw



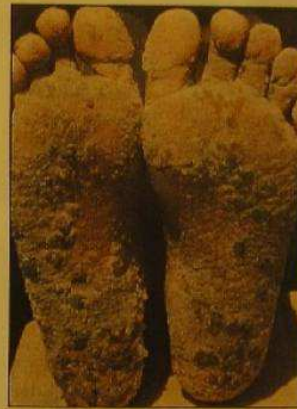
central pivot systems



# Standaard vragen zijn: hoeveel? wat voor kwaliteit? waar vandaan? wat is het effect of de omgeving?

## India's Spreading Health Crisis Draws Global Arsenic Experts

Bangladesh



JADAVPUR UNIVERSITY

West Bengal have been hit hard by arsenic contamination along the Indian-Bangladeshi border. (Above, Right)

Anderson/U.S. Geological Survey



Warning motorists of subsidence hazard was installed after an earth fissure damaged Snyder Hill in Pima County, Arizona, 1981.



# Verlaging van grondwaterstanden heeft allerlei vervelende gevolgen

Verdroging van vegetatie

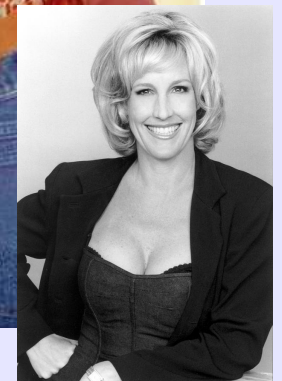
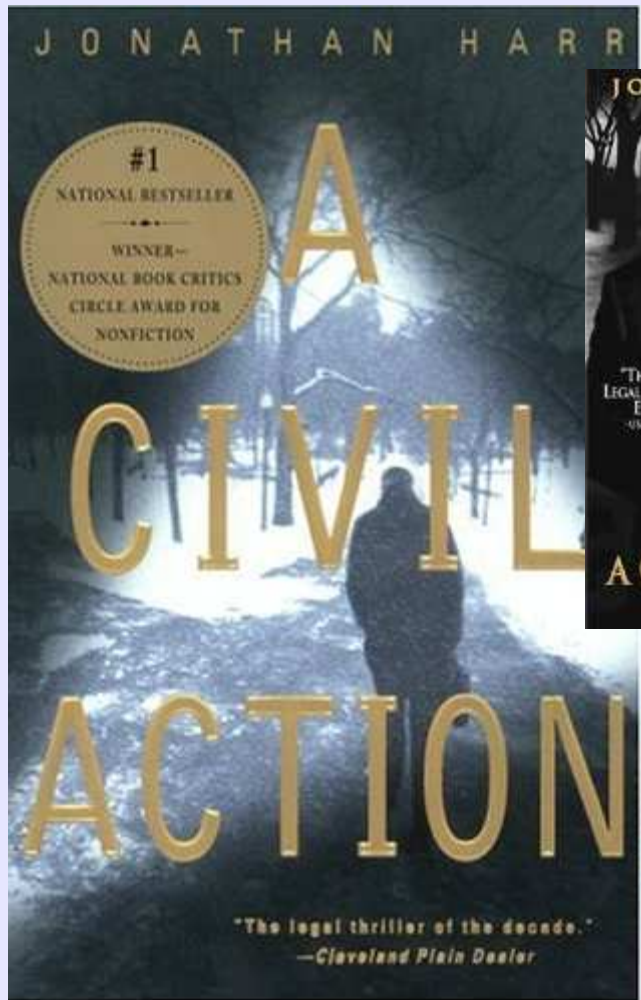


Verzakte huizen t.g.v. Paalrot, wat weer een gevolg is van verlaagde grondwaterstanden

# Vervuild grondwater nabij graanpakhuizen in de Midwest USA

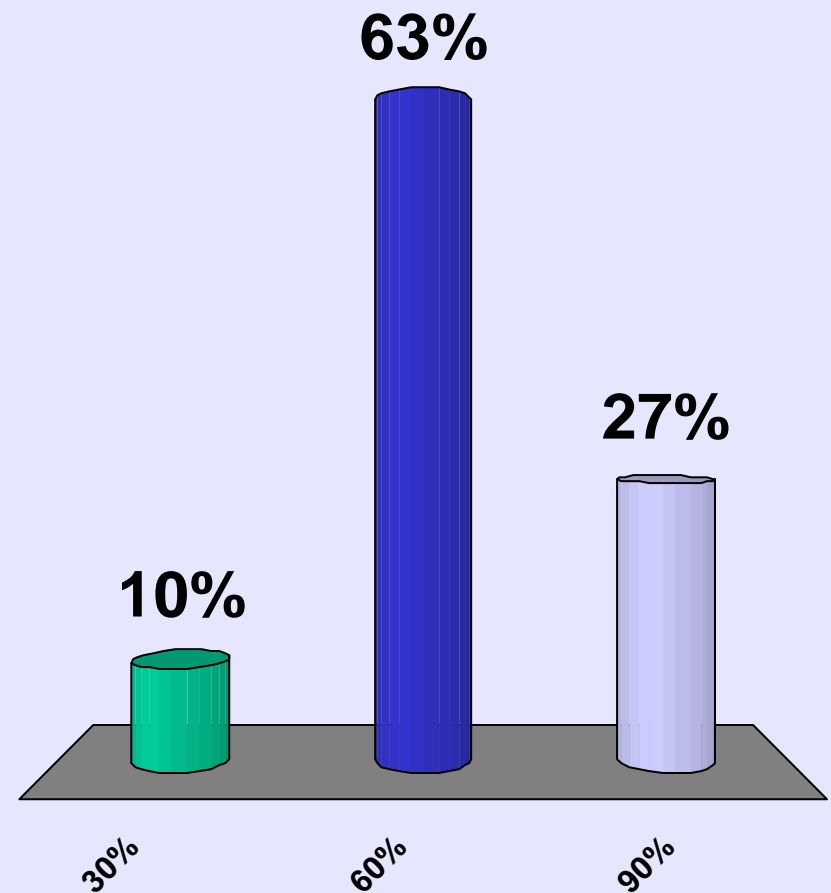


# Boeken en films over de effecten van grondwater vervuiling



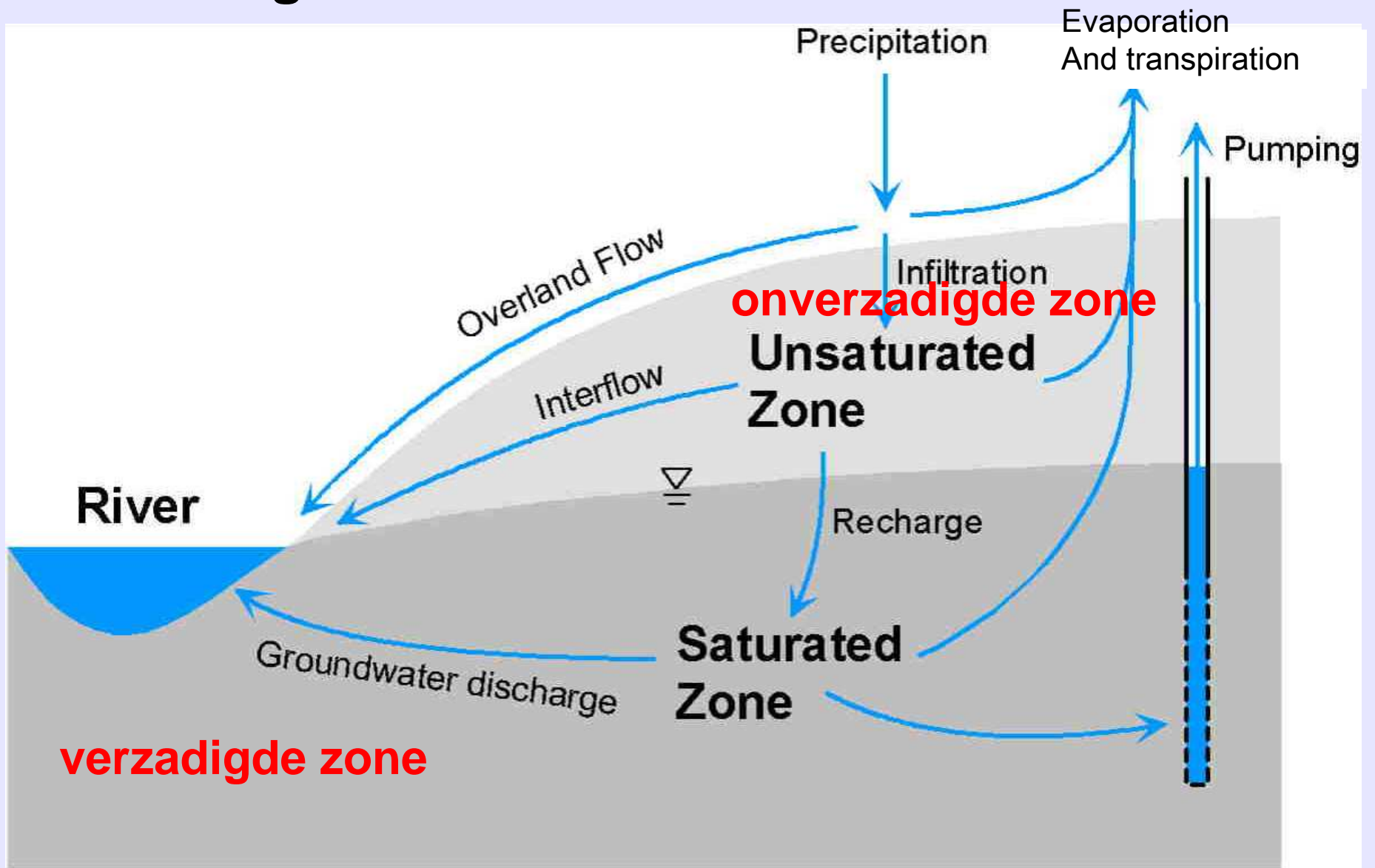
# Welk percentage van het nederlands drinkwater komt uit het grondwater?

1. 30%
2. 60%
3. 90%

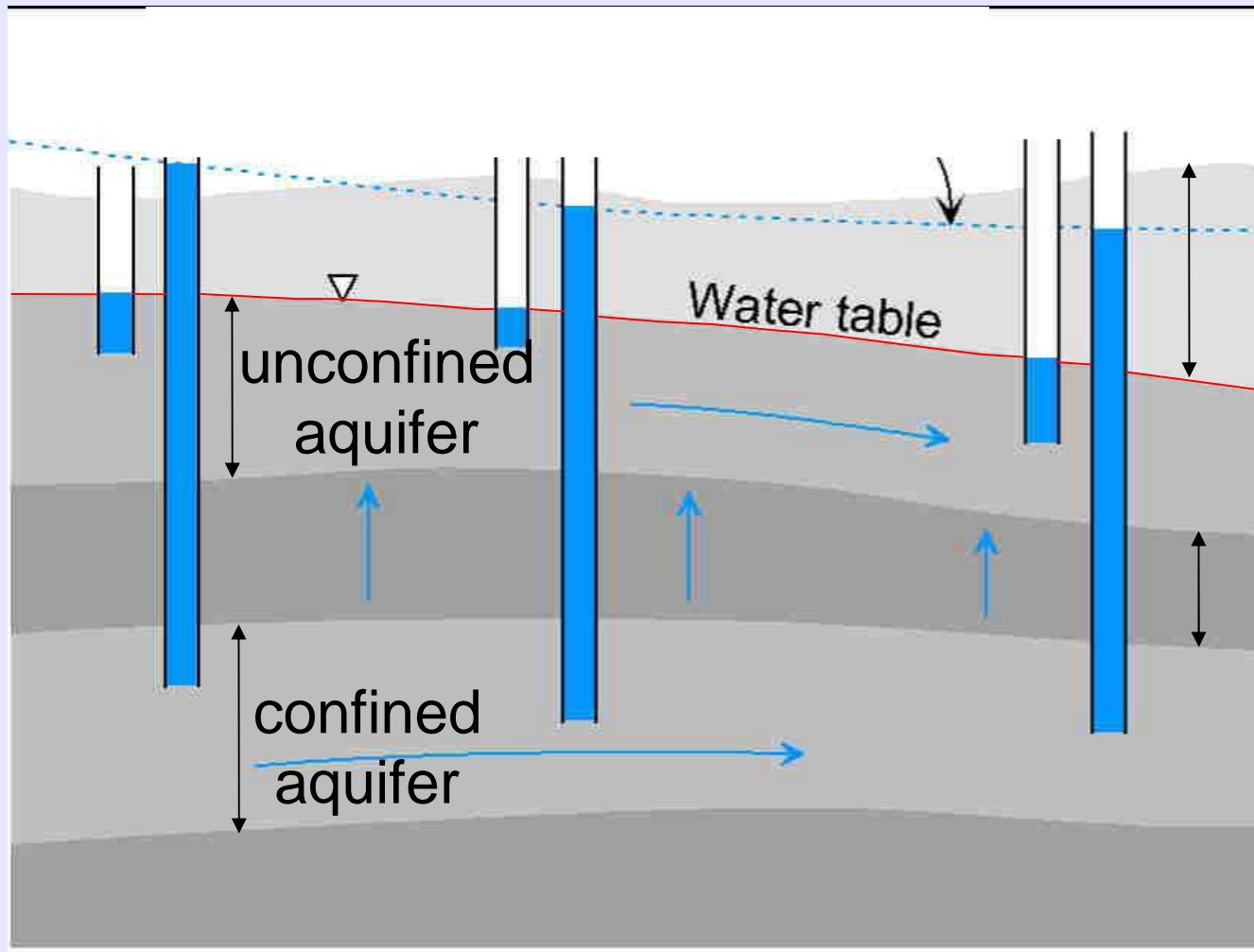




# Neerslag bereikt de verzadigde zone via de onverzadigde zone



# De ondergrond is opgebouwd uit watervoerende pakketten en slecht-doorlatende lagen



onverzadigde  
zone

→ grondwater  
spiegel

scheidende laag  
weerstandslag  
aquitard

## **Een artesische put**

**Water in een confined aquifer staat onder zo'n grote druk dat het via een put vanzelf naar het oppervlak stroomt**

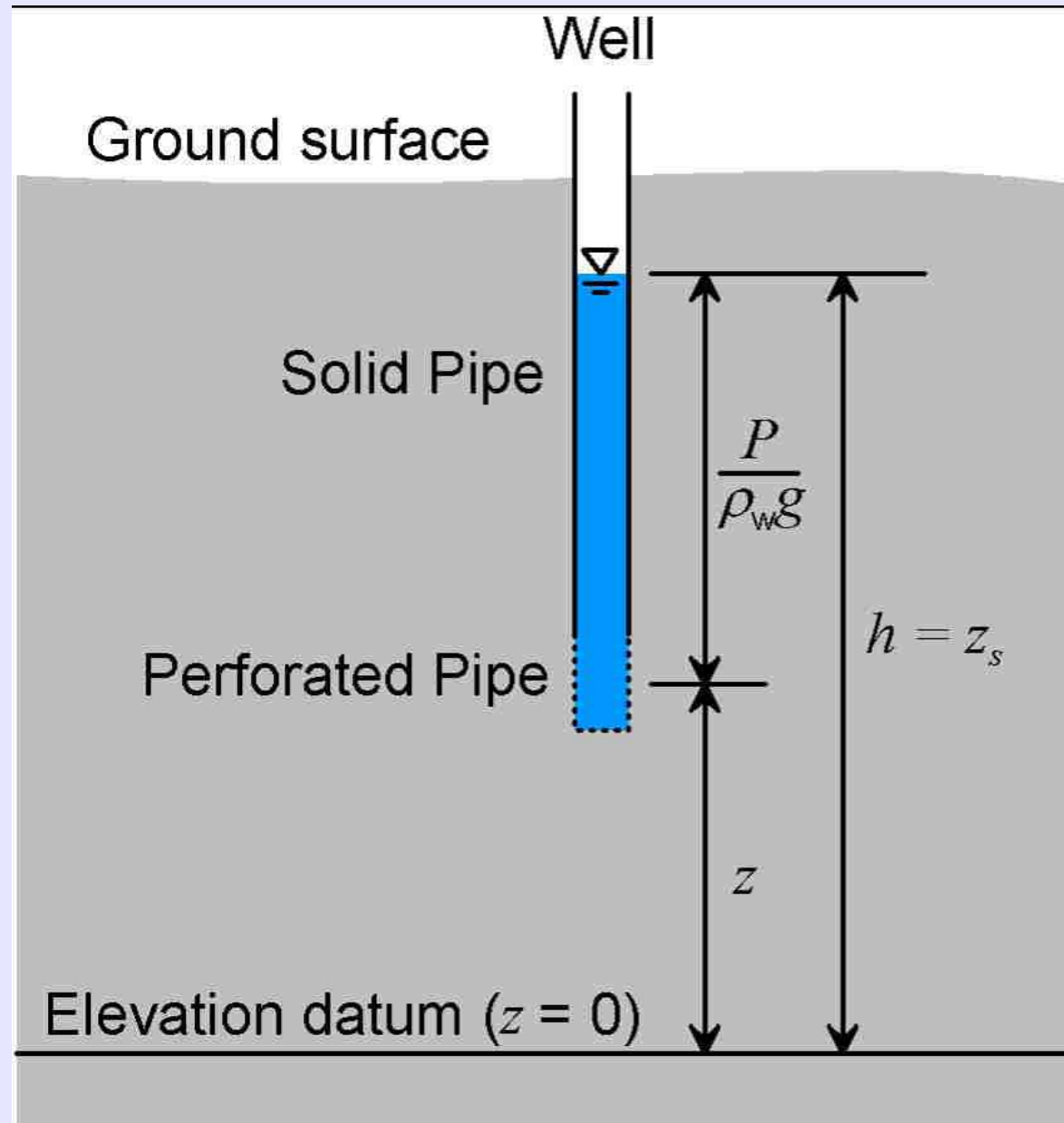
**Dit gebeurt niet op veel plekken (meer)**



# Stijghoogte wordt gemeten in een peilbuis (of stijgbuis)

stijghoogte of  
(hydraulic) head

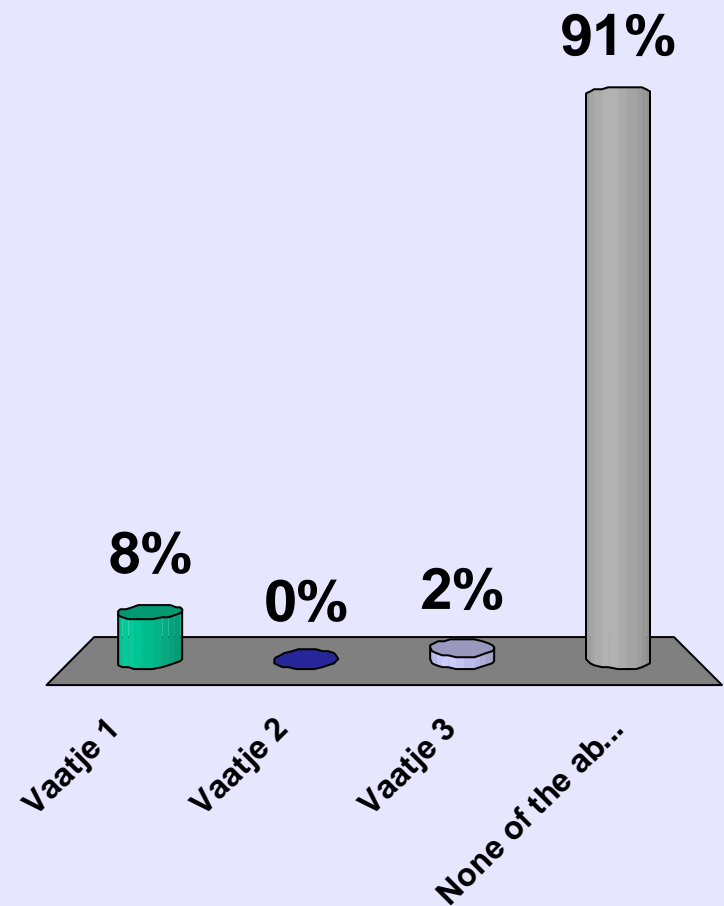
$$h = \frac{p}{\rho_w g} + z$$



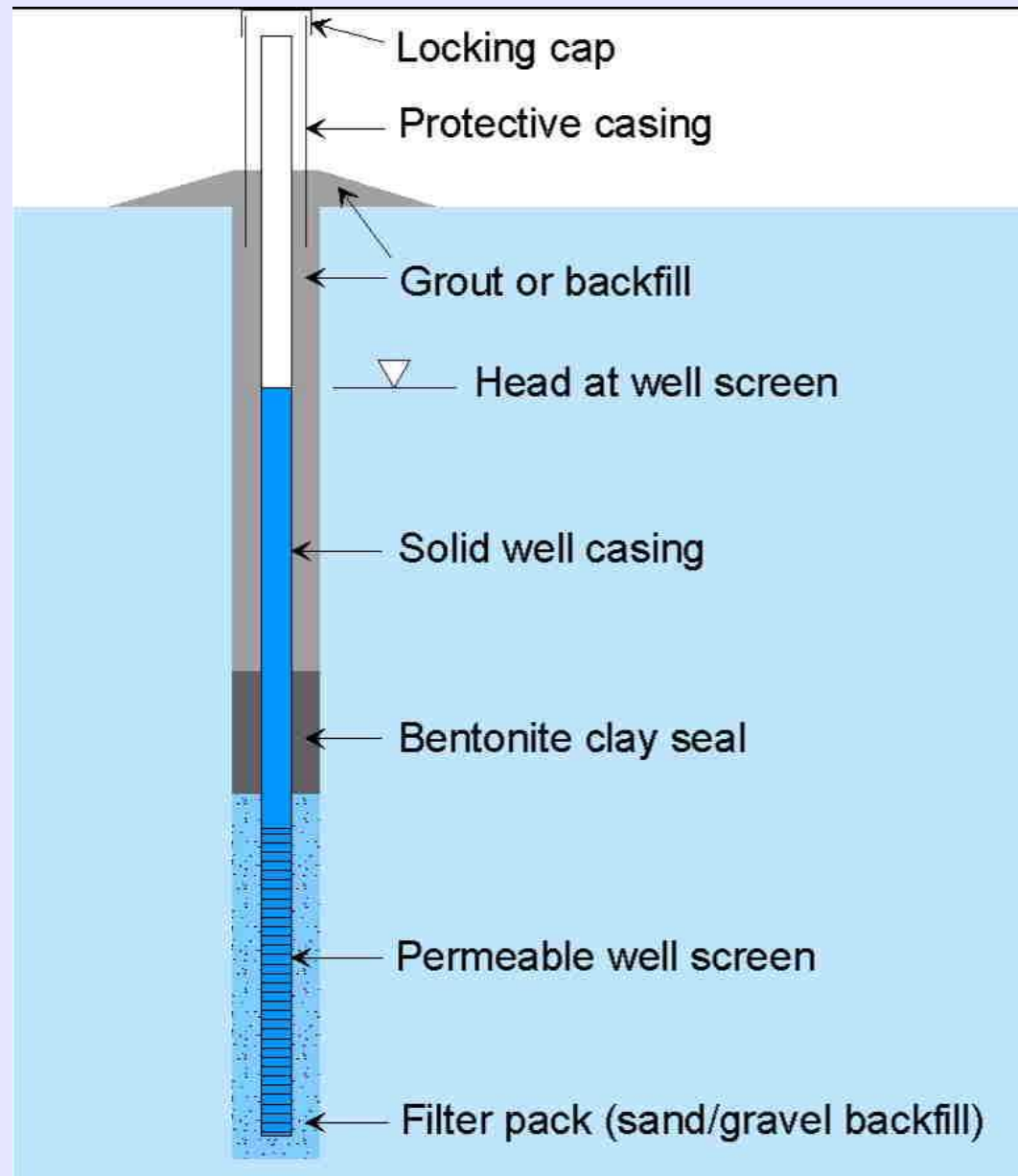


## Bij welk vaatje is de druk op de bodem het hoogst? (zie bord)

1. Vaatje 1
2. Vaatje 2
3. Vaatje 3
4. None of the above



# Installatie van een observatie buis of put



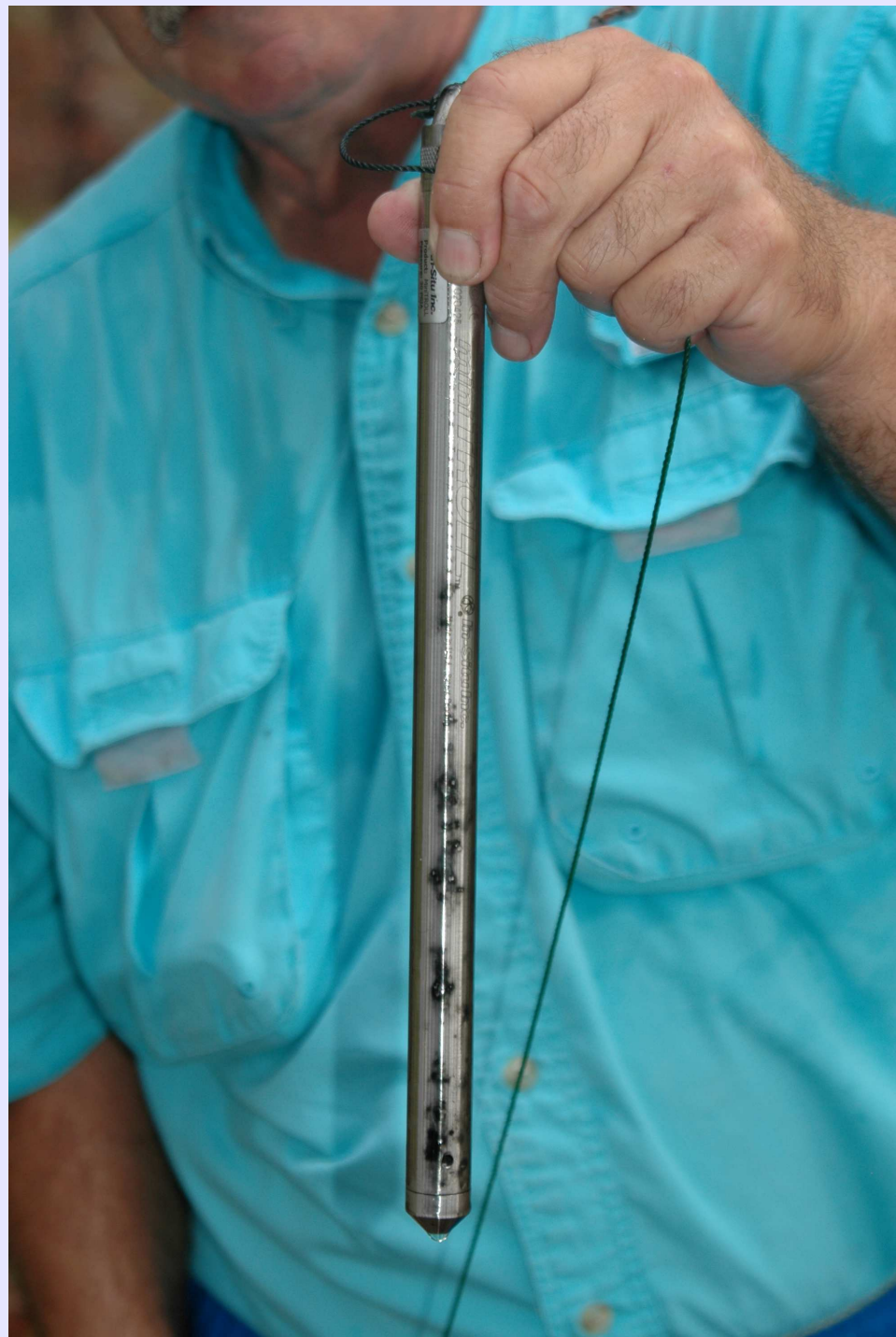






















**Voor grotere putten heb je een boorinstallatie nodig**

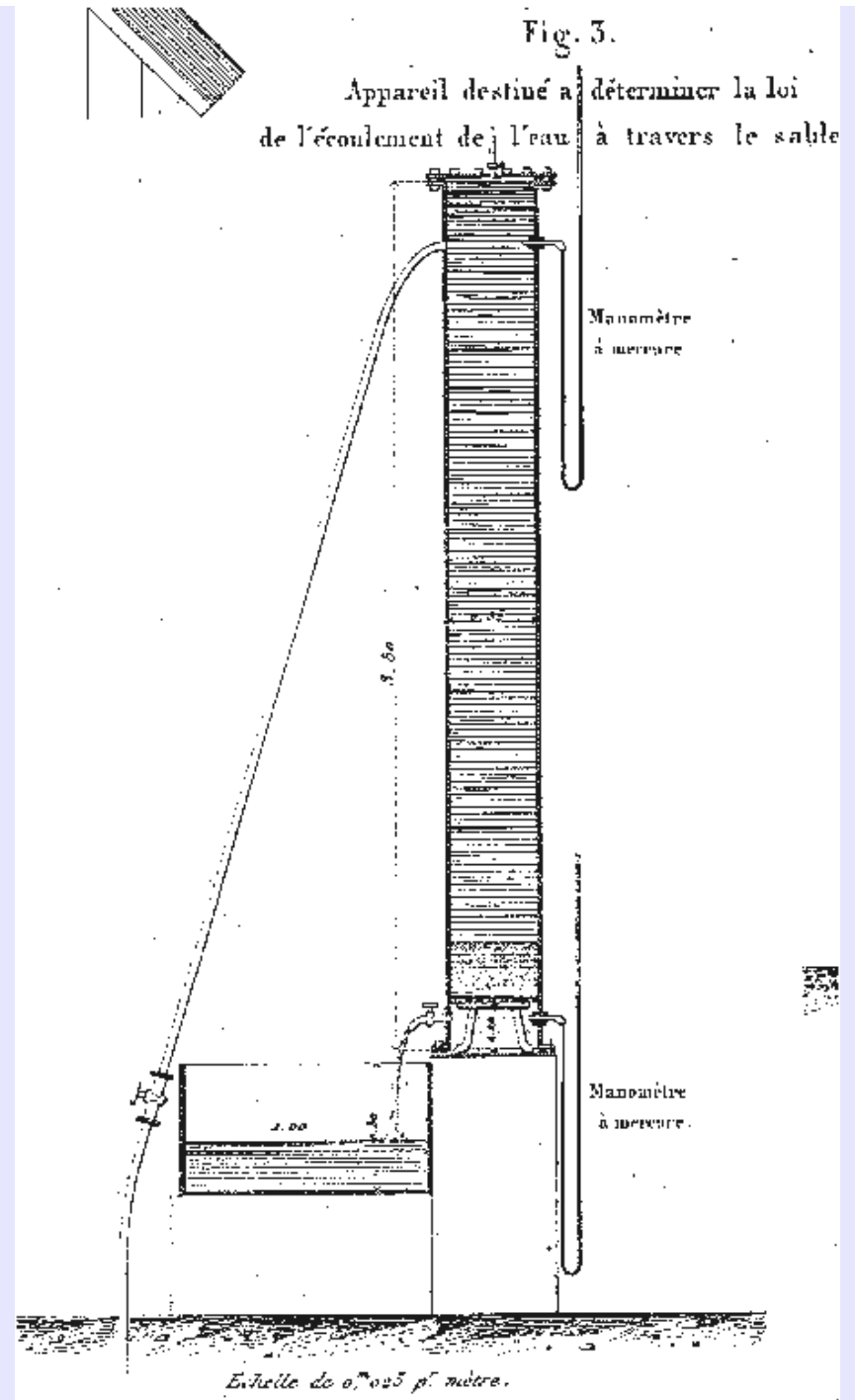


**Grondwater stroomt  
van hoge stijghoogte  
naar lage stijghoogte.**

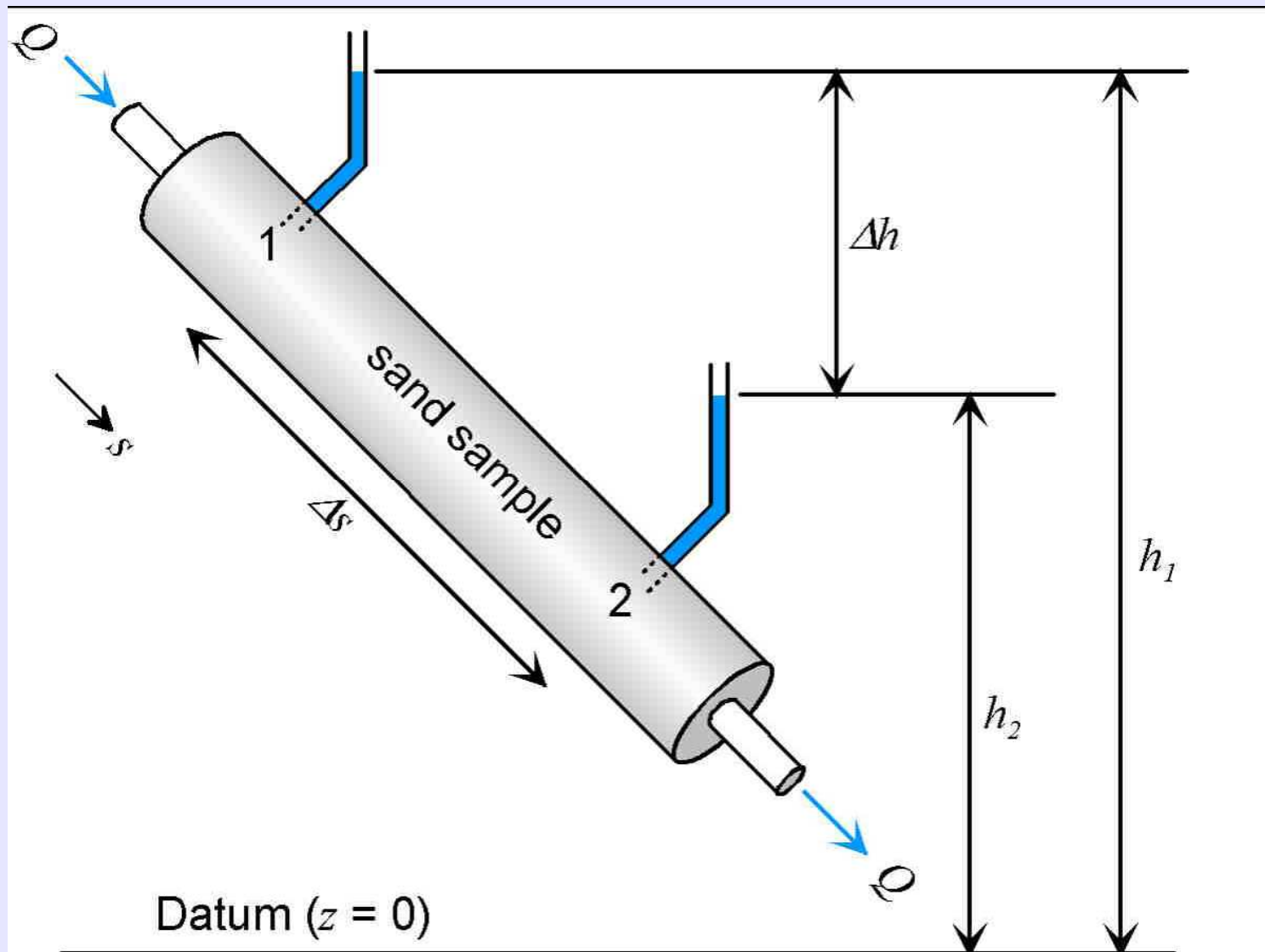
**Maar hoeveel  
water stroomt er?**



Henry Darcy  
1856

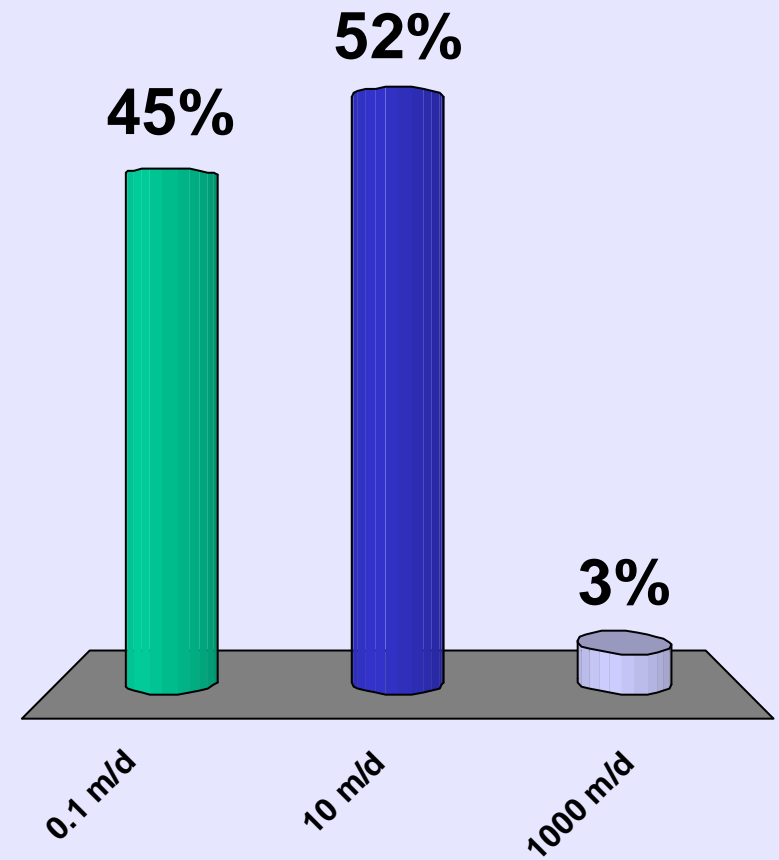


# Darcy experiment: Meet het debiet dat door een grondmonster stroomt



# Wat is een redelijke doorlatendheid van zand?

1. 0.1 m/d
2. 10 m/d
3. 1000 m/d



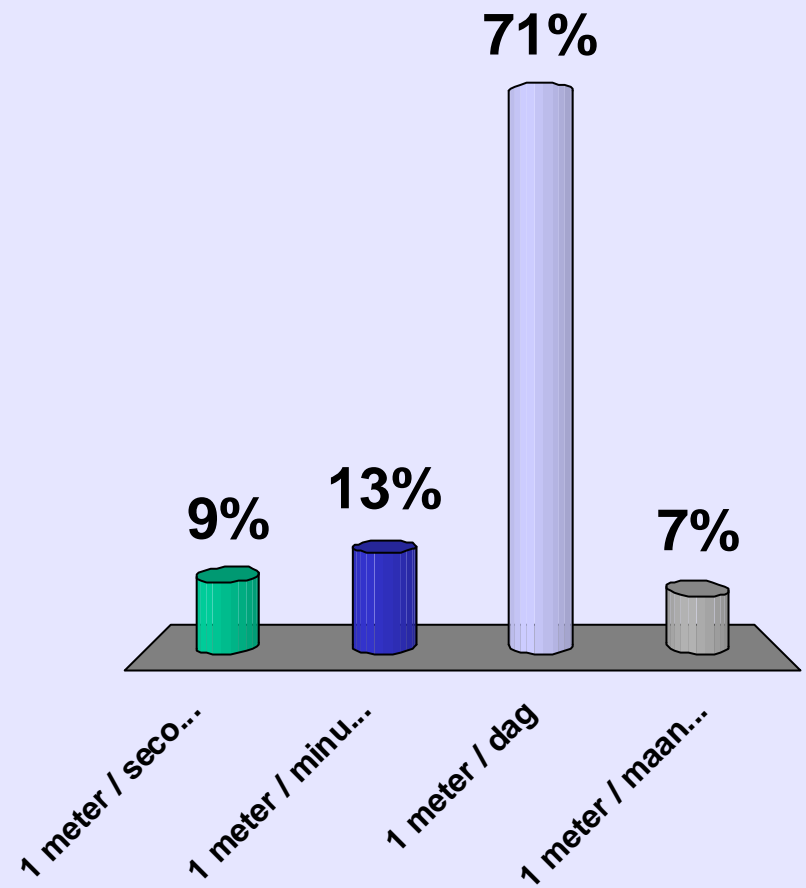


## Doorlatendheid in meter per dag (m/d)

Materiaal	$k$ (m/dag)
Klei	$< 0.0001$
Zanderige klei	$0.0001 - 0.001$
Veen	$0.0001 - 0.01$
Silt	$0.001 - 0.01$
Heel fijn zand	$0.1 - 1$
Fijn zand	$1 - 10$
Grof zand	$10 - 100$
Zand met grind	$100 - 1000$
Grind	$> 1000$

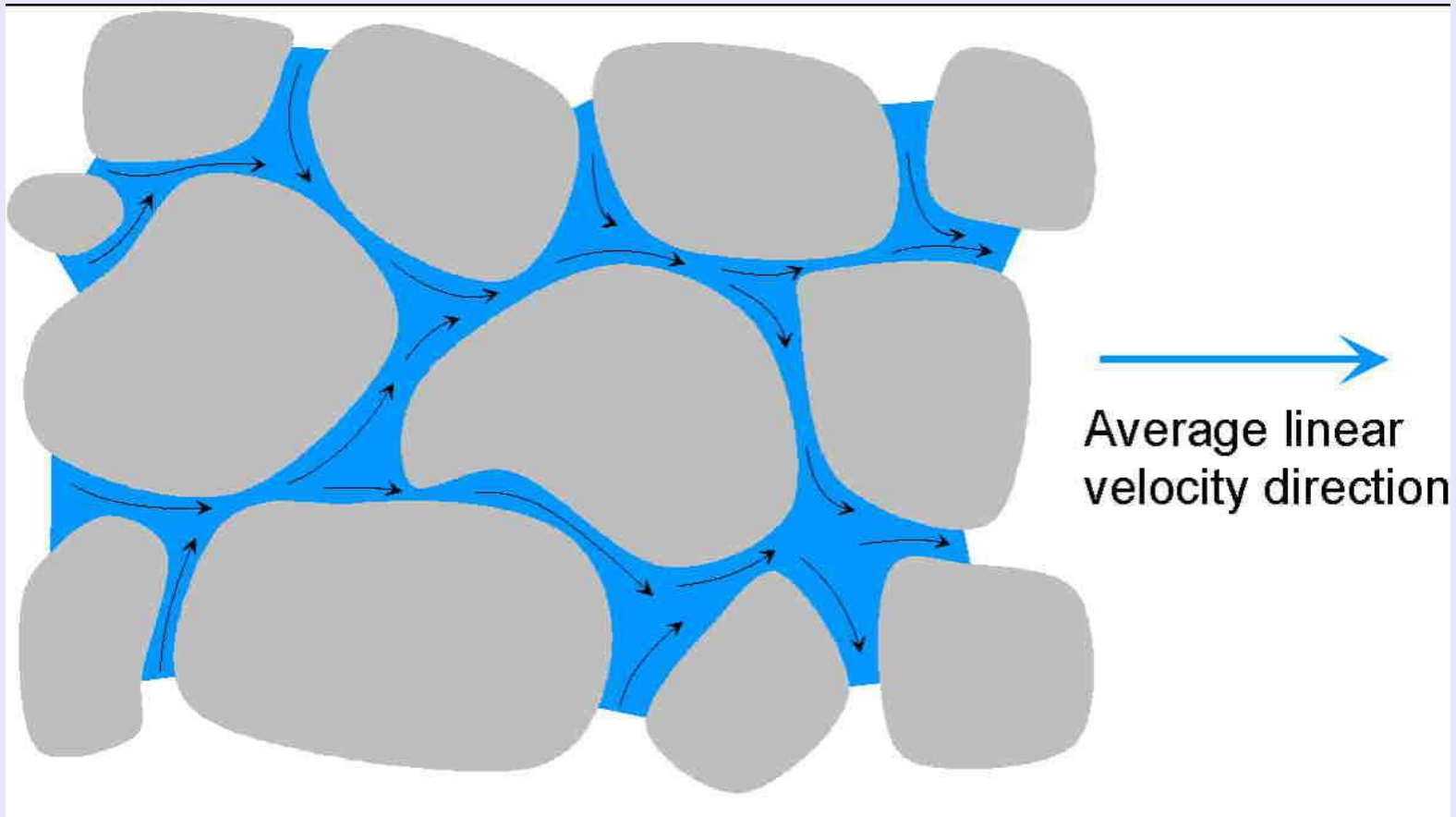
## Hoe snel stroomt grondwater zo ongeveer?

1. 1 meter / seconde
2. 1 meter / minuut
3. 1 meter / dag
4. 1 meter / maand

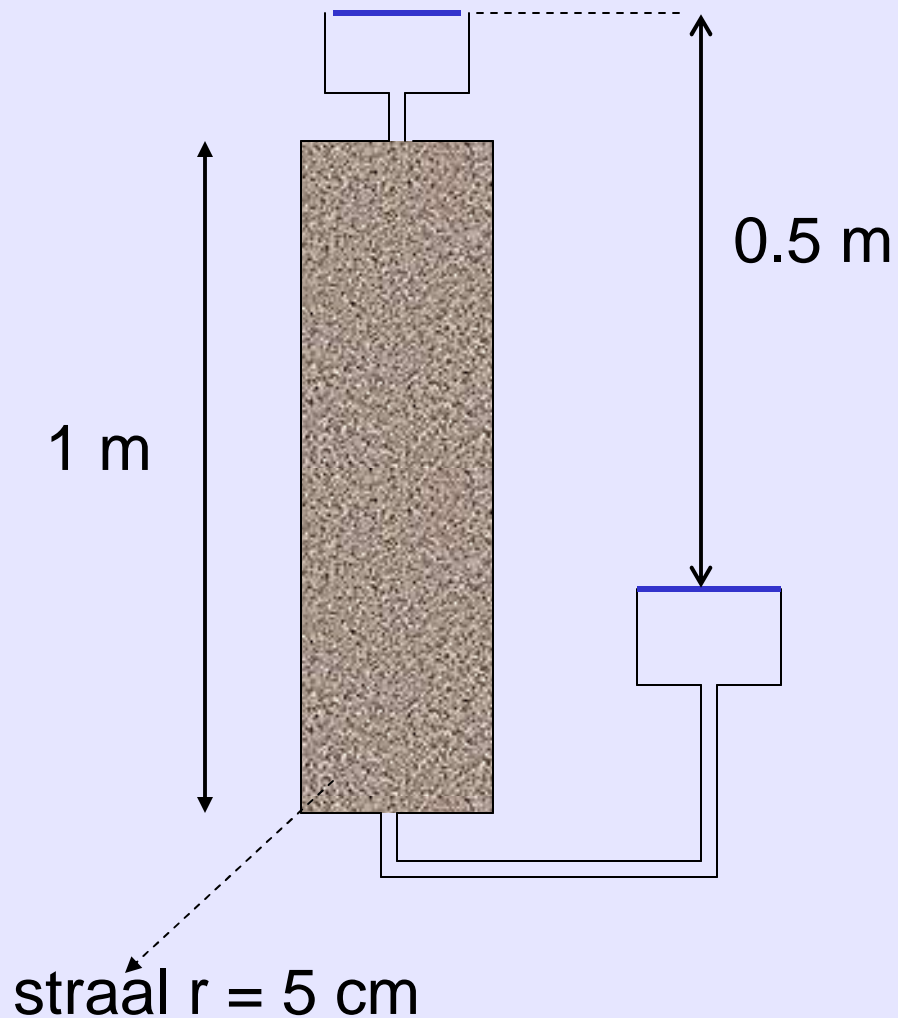


**Specifiek debiet is het debiet dat stroomt door een vlak met oppervlakte 1.**

**Maar wat is nu de gemiddelde snelheid van het grondwater?**



Hoe lang duurt het voor een water deeltje om van boven naar beneden door deze kolom met zand te stromen?



Gegeven:

$$k = 6 \text{ m/d}$$

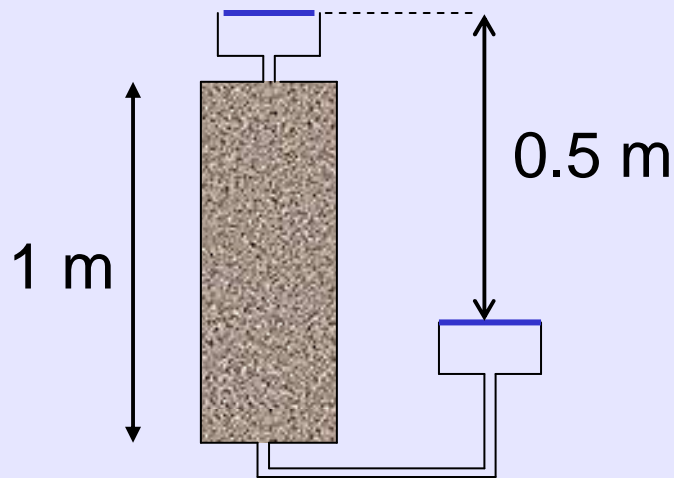
$$\text{porositeit } n = 0.25$$

$$q = k * \Delta h / L$$

$$= 6 * 0.5 / 1 = 3 \text{ m/d}$$



Hoe lang duurt het voor een water deeltje om van boven naar beneden door deze kolom met zand te stromen?

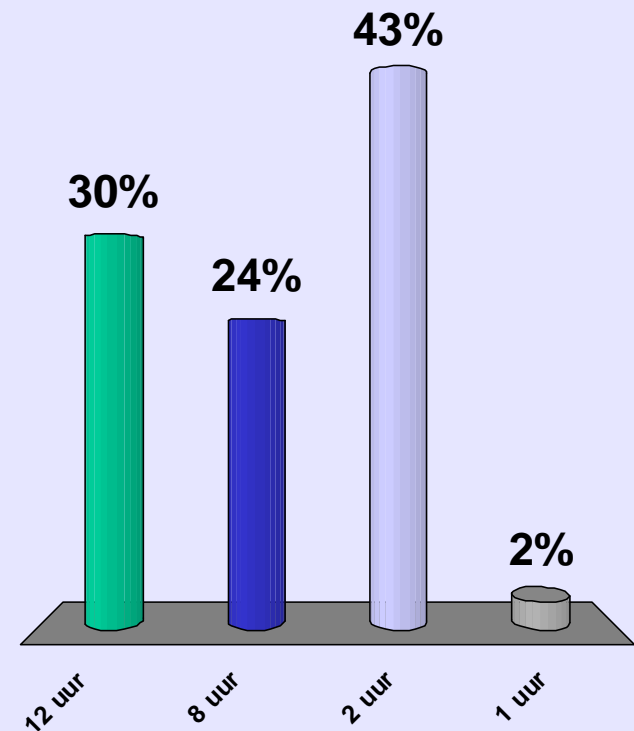


$$k = 6 \text{ m/d}$$

$$n = 0.25$$

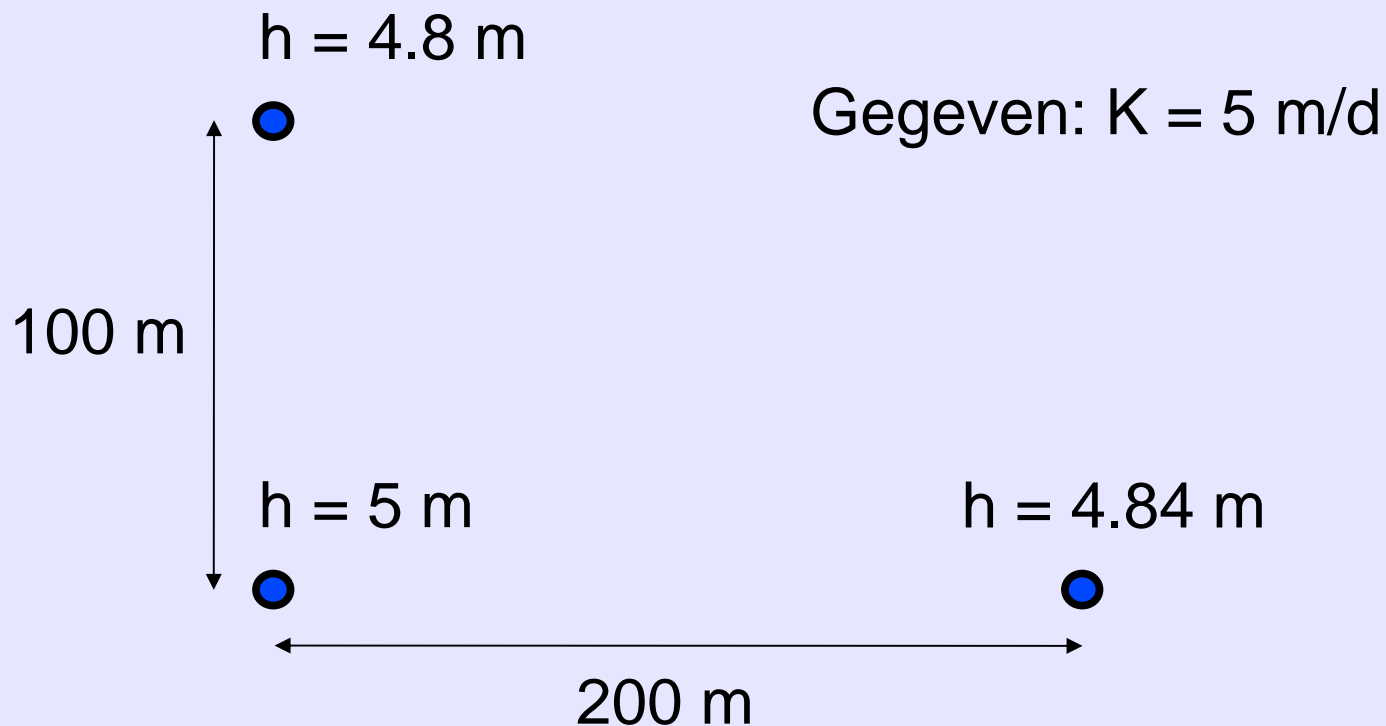
$$q = 3 \text{ m/d}$$

1. 12 uur
2. 8 uur
3. 2 uur
4. 1 uur



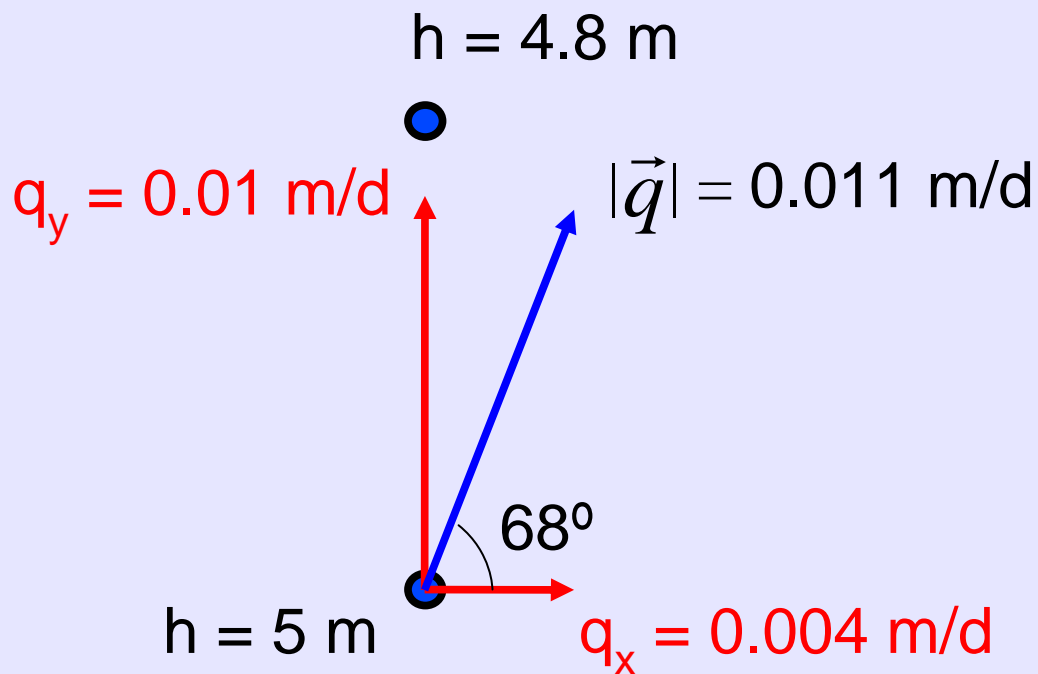
# Voorbeeld: uniforme stromingsberekening met 3 peilbuizen

Wat is de richting en grootte van het specifiek debiet?



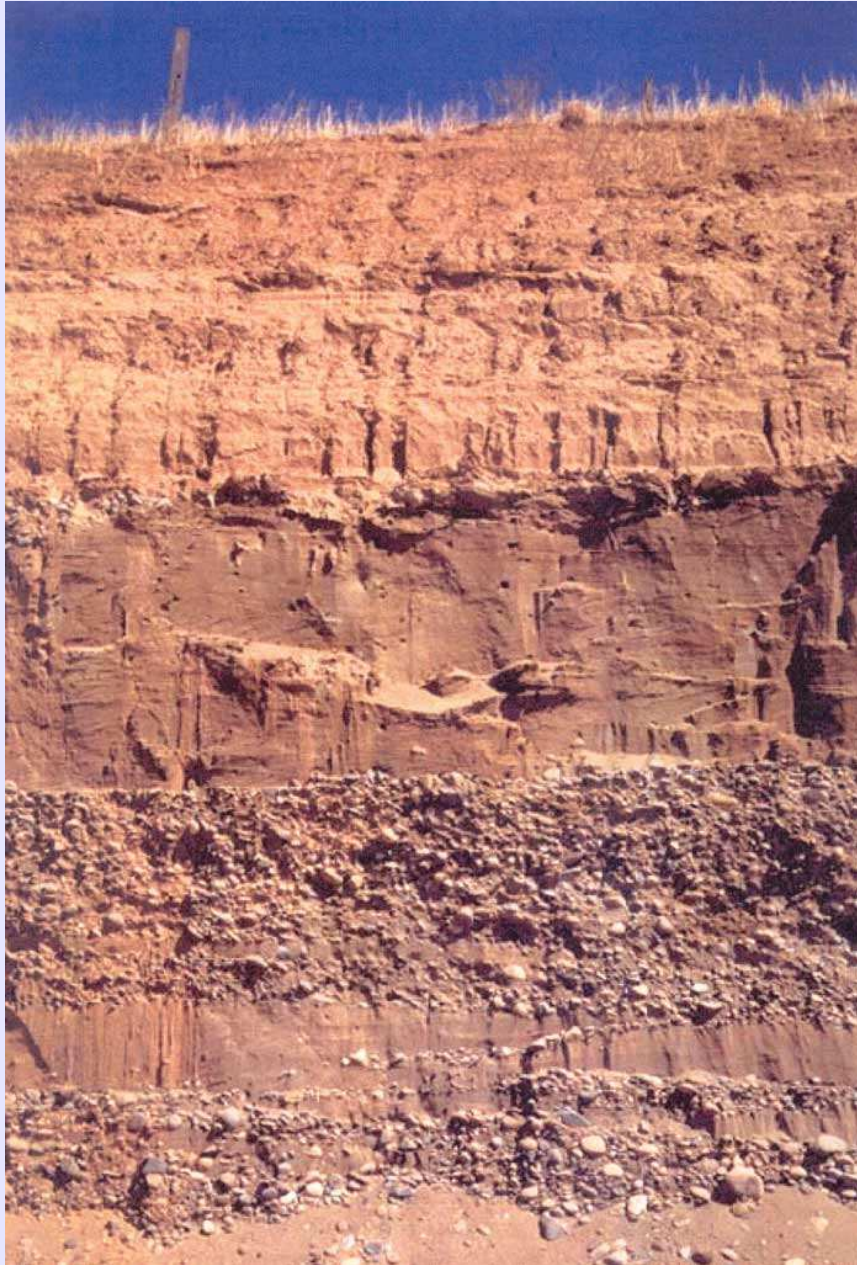
# Lengte en richting van specifiek debiet vector bepaald uit componenten in x en y richting

Gegeven:  $K = 5 \text{ m/d}$



●  $h = 4.84 \text{ m}$

# Grond bestaat vaak uit kleine laagjes



De verticale doorlatendheid is vaak kleiner dan de (gemiddelde) horizontale doorlatendheid

Vertikale anisotropie

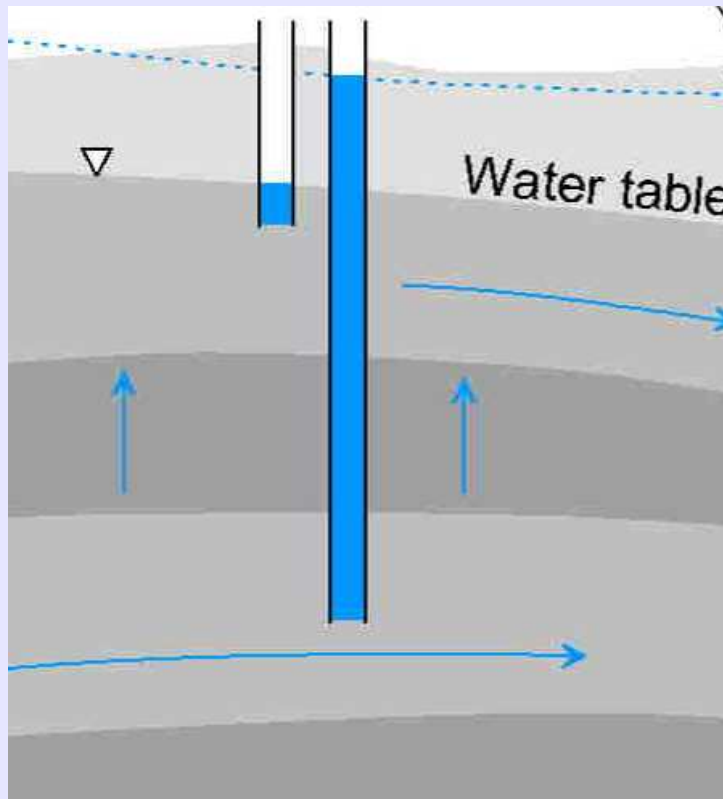
Maar wij gaan hier uit van homogene pakketten





**Aquifers (watervoerende pakketten) worden gekarakteriseerd door de tranmissiviteit**

**Stroming door aquifers is voornamelijk horizontaal (Dupuit benadering)**

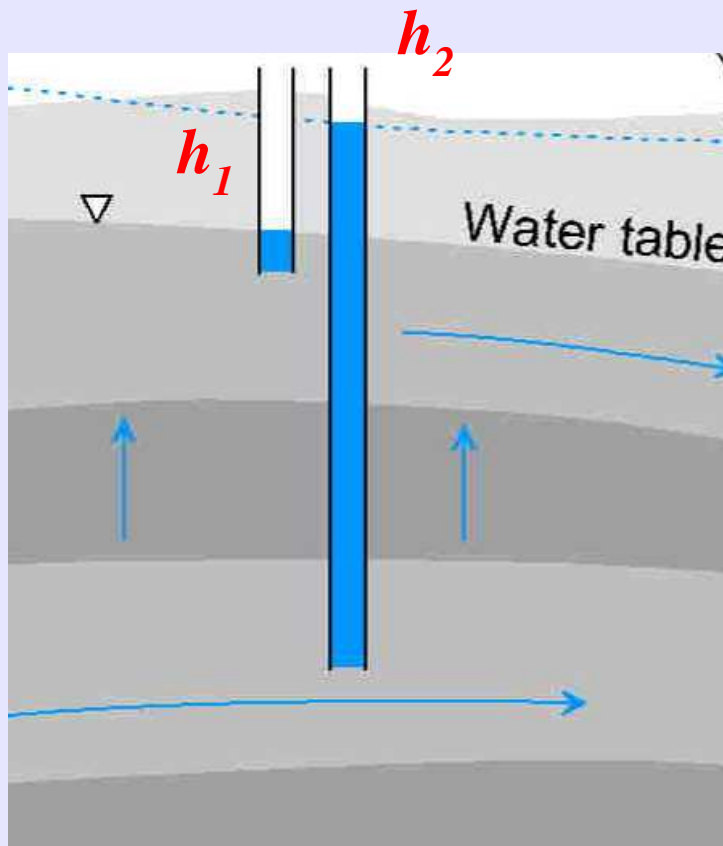


Doorlaatvermogen of tranmissiviteit van een aquifer  $T = KD$  (ook wel de  $KD$  waarde genaamd)

Dikte  $D$

Leklagen (scheidende lagen) worden gekarakteriseerd door de weerstand

**Stroming door leklagen is voornamelijk vertikaal**



Vertikale stroming door leklaag is

$$q_z = K_z \frac{h_2 - h_1}{D}$$

Dikte  $D$

Definieer weerstand  $c = D / K_z$

$$q_z = \frac{h_2 - h_1}{c}$$

# Voorbeeld

Een opslagdepot voor vervuilde grond heeft een kleilaag aan de onderkant en vrijwel ondoorlatende zijkanen. De stijghoogte in de zandlaag onder de kleilaag is 20 meter. Om te zorgen dat er geen vervuild water uit het opslagdepot lekt, wordt er constant water uit het opslagdepot gepompt zodat de grondwaterstand in het depot op 19 meter blijft.

Gegeven: Het opslagdepot is 40 bij 40 meter, de porositeit van de vervuilde grond is 0,3, de dikte van de kleilaag is 0,5 m, de doorlatendheid van de kleilaag is 1 mm/d en de porositeit van de klei is 0,1.

Gevraagd:

- a) Wat is het specifiek debiet door de kleilaag?
- b) Hoe lang duurt het voor een waterdeeltje om door de kleilaag te stromen?
- c) Hoeveel water moet er per dag uit het opslagdepot gepompt worden om de grondwaterstand in het opslagdepot op 19 m te houden?
- d) Als de pomp 4 weken stuk is, hoeveel zal de grondwaterstand in het opslagdepot dan ongeveer stijgen?
- e) Leg uit of je antwoord onder c) aan de hoge of aan de lage kant is.

## Is ons antwoord onder c) aan de hoge of lage kant?

1. Aan de hoge kant
2. Aan de lage kant

