

## Spanning in het water



### **natuurkunde onderzoek:**

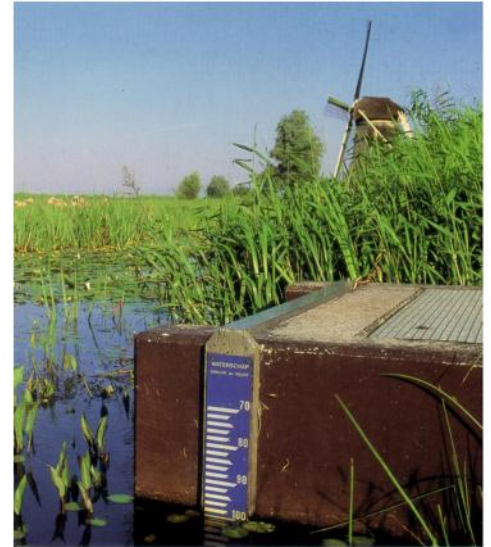
Naam: .....

## Experiment: Spanning in het water

### Inleiding:

Een groot deel van Nederland ligt onder zeeniveau. Toch stromen de lage gedeelten niet onder water. De Nederlandse gemalen pompen dag en nacht om de polders droog te houden. Sterker nog: eeuwenlange ervaring met bemalen heeft Nederland in staat gesteld om het waterpeil op een optimale hoogte in te stellen voor bijvoorbeeld landbouw en natuur.

Door het opwarmen van de atmosfeer stijgt de zeespiegel en neemt het gedeelte van Nederland gelegen onder de zeespiegel toe. Het bemalen moet daarom steeds krachtiger en uitgebreider gebeuren. Bemaling is letterlijk van levensbelang. Het is dus belangrijk dat je iets van waterstroming door de bodem af weet.



figuur 1: een gemaal tegen een typisch Hollandse achtergrond

Hoeveel water stroomt er nu per dag van onderaf de polder in? Met welke snelheid stroomt het water? Hoe lang doet een druppel erover om vanuit zee via de ondergrond naar een bepaalde polder te stromen?

Of: hoe lang duurt het voordat een nitraatverontreiniging van een landbouwgebied een van onze drinkwaterputten bereikt?

Heb jij enig idee van de hoeveelheid water, die er per dag in een gemiddelde polder van 10 km<sup>2</sup> moet worden weggepompt?

*Ik schat dat er per dag ..... m<sup>3</sup> water een gemiddelde polder uit moet worden gepompt.*

In deze module zul je middels experimenten uitvinden waarvan de snelheid van water dat door de bodem stroomt, afhankelijk is. Aan het eind van deze module ben je zelf in staat om te berekenen hoe hard je moet bemalen om een polder droog te houden. Het aardige daarbij is dat je de berekening kunt uitvoeren met een formule, die je in de elektriciteitsleer bij natuurkunde hebt gehad: de Wet van Ohm. De formule van deze wet wordt op pagina 3 uitgelegd.

## Doelstellingen.

Na afloop van deze module weet je:

- dat verschillende grondsoorten een verschillende weerstand tegen waterstroming bieden;
- dat deze verschillen van grote betekenis zijn voor de bemaling in Nederland;
- dat de regels voor in serie en parallel geschakelde weerstanden ook gelden voor een aantal gestapelde bodemlagen;
- dat bodemwaterstroming met de wet van Darcy beschreven kan worden;
- dat de wet van Darcy en de wet van Ohm in wezen hetzelfde zijn;

En kun je:

- de weerstand tegen waterstroming van een grondsoort bepalen;
- een grondwaterstromingsprobleem uit de werkelijkheid oplossen.

## Opzet van het experiment.

In deze module zul je middels experimenten uitvinden hoe snel water door de bodem stroomt en waar dat van afhankelijk is.

### Stap 1

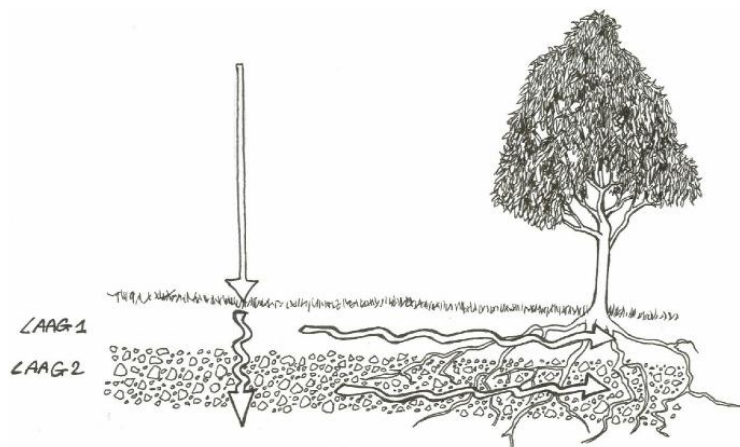
Eerst doe je twee experimenten waarin je meet hoe groot de weerstand tegen waterstroming van twee verschillende soorten zand is;

### Stap 2

Daarna ga je meten hoe groot de totale weerstand is indien water haaks op of parallel aan een gelaagde bodem stroomt;

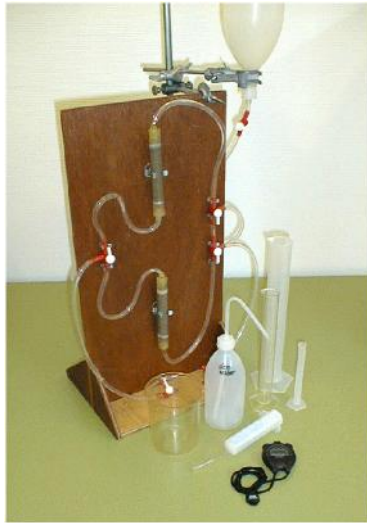
### Stap 3

Tenslotte los je met de opgedane kennis een echt grondwaterstromingsprobleem op.



figuur 2: water kan verticaal of horizontaal door de bodem stromen.

## Benodigheden:



- houten proefopstelling (met een slangenstelsel, een waterreservoir en twee buisjes met verschillende grondsoorten)
- maatcilinder van 10 mL
- maatcilinder van 100 mL
- maatcilinder van 250 mL
- groot bekeerglas
- stopwatch

## Theorie bij het experiment

Denk voordat je met experimenteren begint eerst even terug aan de Wet van Ohm:

$$I = U / R$$

*stroomsterkte (in Ampère) = spanning (in Volt) / weerstand (in Ohm)*

De stroomsterkte is een maat voor het aantal elektronen, dat per tijdseenheid een doorsnede van een elektriciteitskabel passeert, de spanning geeft aan hoe graag de elektronen van de ene naar de andere pool willen stromen en de weerstand geeft aan hoe moeilijk of makkelijk dat gaat.

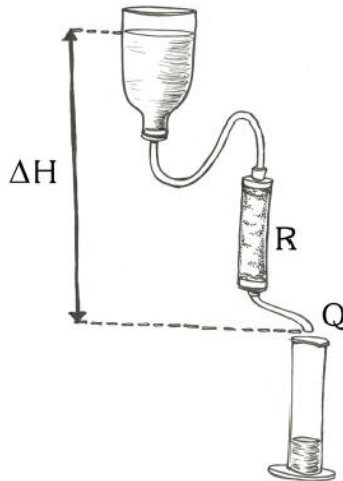
De Wet van Ohm zegt eigenlijk niets anders dan dat de stroomsterkte toeneemt als er een grotere spanning wordt opgelegd (de breuk wordt er immers groter door) en dat de stroomsterkte afneemt als de weerstand toeneemt (de breuk wordt er immers kleiner door). Voor de stroming van water door een bodem (in plaats van elektronen door een elektriciteitskabel) geldt precies hetzelfde:

$$Q = \Delta H / R$$

$Q$  stroomsnelheid van het water (in  $\text{cm}^3/\text{s}$ )

$\Delta H$  afstand tussen de waterstand bij het hoogste punt (reservoir) en het laagste punt (onderaan uitvoerslang) (in cm)

$R$  weerstand van de bodem tegen waterstroming (in  $\text{s}/\text{cm}^2$ )

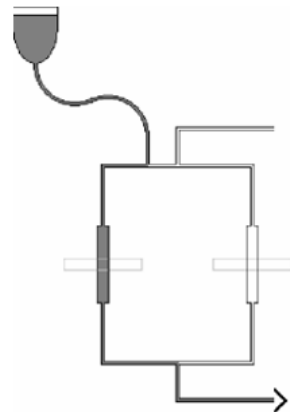


figuur 4: schematische weergave van de proefopstelling: vanuit het waterreservoir loopt het water door een buisje met zand naar de maatcilinder. Het hoogteverschil  $\Delta H$  en de weerstand  $R$  bepalen hoe snel het water uitstroomt ( $Q$ ).

## Experiment A: De weerstand bepalen van grof zand

### Werkwijze:

- A.0 Zorg dat er geen lucht meer in de slangen zit, door de opstelling eerst helemaal te vullen met water. Daarna houd je het reservoir hoog, zodat de opstelling goed doorloopt.
- A.1 Draai de kraantjes zodanig dat water alleen door de buis met grof zand kan stromen, maar laat het kraantje bij de uitstroomopening nog in gesloten stand staan.
- A.2 Vul het reservoir met water.
- A.3 Plaats het uiteinde van de uitvoerslang in een maatcilinder.
- A.4 Druk de stopwatch in en open gelijktijdig het kraantje van de uitvoerslang. Laat het water 3 minuten lopen terwijl je het opvangt in de maatcilinder. Vul het reservoir telkens een beetje bij zodat het waterpeil ongeveer constant blijft.
- A.5 Sluit daarna het kraantje van de uitvoerslang.
- A.6 Vul meetgegevens en uitkomsten van berekeningen in.



figuur 5: schematische weergave van de waterstroming door de buis met grof zand

### Antwoorden: buis met grof zand

Hoeveelheid water, die in 3 minuten door de buis loopt (in ml): .....

De stroomsnelheid  $Q$  is, dus (in  $\text{cm}^3/\text{s}$ ): .....

Het hoogteverschil  $\Delta H$  is (in cm): .....

De weerstand  $R$  van grof zand is (in  $\text{s}/\text{cm}^2$ ): .....



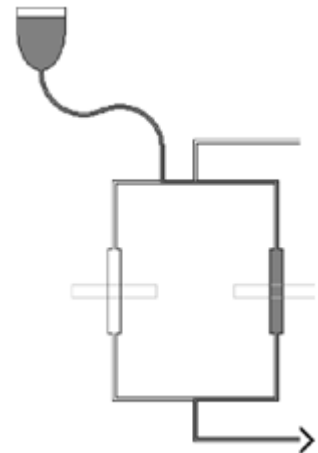
**Verrijkingstof: De hevel**

Als je een slang met beide kanten naar boven houdt en er wat water in giet, dan zal het waterniveau aan beide kanten gelijk gaan staan. Zodra je één kant lager houdt, gaat er water stromen totdat het evenwicht zich opnieuw heeft ingesteld. Het verschil in het waterniveau is de drijvende kracht achter het stromingsproces, net zoals het elektrisch potentiaalverschil (spanning) van een batterij een elektrische stroom veroorzaakt. Het waterniveau in de buis kun je vergelijken met het niveau van het grondwater of het oppervlaktewater. Zodra er een verschil in niveau is, gaat er water stromen. De snelheid waarmee het water stroomt is afhankelijk van de weerstand die het water ondervindt. In dit geval is dat de weerstand van de bodem.

**Experiment B: De weerstand bepalen van fijn zand**

**Werkwijze:**

- B.1 Maak de opvang-maatcilinder leeg en verdraai de kraantjes zodanig dat water alleen door de buis met fijn zand kan stromen. Laat het kraantje aan de uitvoerslang nog gesloten.
- B.2 Herhaal de stappen A.4 en A.5.
- B.3 Vul meetgegevens en uitkomsten van de berekeningen hieronder in.



figuur 6: schematische weergave van de waterstroming door de buis met fijn zand.

**Antwoorden: buis met fijn zand**

- Hoeveelheid water, die in 3 minuten door de buis loopt (in ml): .....
- De stroomsnelheid Q is dus (in  $\text{cm}^3/\text{s}$ ): .....
- Het hoogteverschil  $\Delta H$  is (in cm): .....
- De weerstand R van fijn zand is (in  $\text{s}/\text{cm}^2$ ): .....



## Theorie bij het experiment.

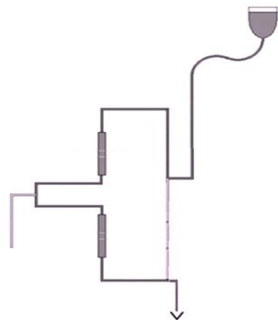
Je kunt uit de weerstand van de afzonderlijke buizen berekenen wat in theorie de totale weerstand zou moeten zijn bij in serie geschakelde weerstanden. Bij in serie geschakelde weerstanden kun je, net zoals bij stroom, een vervangingsweerstand  $R_v$  berekenen. Je kunt de vervangingsweerstand berekenen aan de hand van de formule:

$$R_v = R_{fijn} + R_{grof}$$

## Experiment C: De weerstand bepalen van grof en fijn zand in serie

### Werkwijze:

- C.1 Maak de opvang-maatcilinder leeg. Bouw de opstelling om zoals in onderstaande figuur. Draai de beide buizen daartoe voorzichtig totdat ze in elkaars verlengde staan en draai de kraantjes zodanig dat water eerst door de bovenste stroomt en vervolgens door de onderste buis stroomt. Laat het kraantje aan de uitvoerslang nog even in gesloten stand.



figuur 7: schematische weergave van de waterstroming door de buis met grof en fijn zand in serie

- C.2 Herhaal de stappen A4 en A5.  
C.3 Vul meetgegevens en uitkomsten van de berekeningen hieronder in.

### Antwoorden: grof en fijn zand in serie

Hoeveelheid water, die in 3 minuten door de buis loopt (in ml): .....

De stroomsnelheid  $Q$  is dus (in  $\text{cm}^3/\text{s}$ ): .....

Het hoogteverschil  $\Delta H$  is (in cm): .....

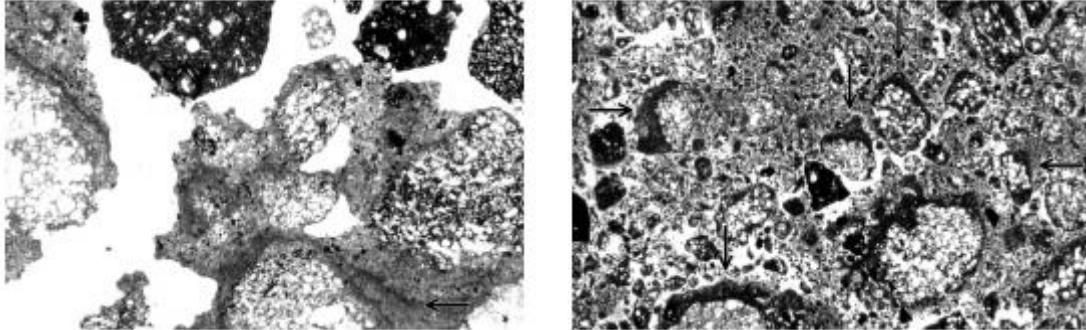
De werkelijke weerstand van de serieschakeling is (in  $\text{s}/\text{cm}^2$ ): .....

De theoretische vervangingsweerstand bedraagt (in  $\text{s}/\text{cm}^2$ ):

.....

## Theorie bij het experiment.

De weerstand in de bodem hangt af van de grootte van de poriën tussen de bodemdeeltjes.



figuur 8 en 9: beide afbeeldingen zijn sterk vergrote foto's van sedimenten. Links zie je zandkorrels (de grote brokken) die met een laagje klei en silt omkleed zijn. De combinatie van zand-, silt- en kleideeltjes noem je aggregaat. Tussen deze aggregaten bevinden zich grote poriën. In de rechter foto zie je een soortgelijk sediment, maar nu met veel kleinere poriën. De bodem in de linker foto biedt veel minder weerstand tegen waterstroming dan de rechter.

De poriegrootte kun je zien als een bodemeigenschap, die voor elke bodem een specifieke waarde heeft. Zo is ook de soortelijke weerstand een bodemeigenschap. Normaal gesproken rekent de bodemkundige niet met de weerstand van een bodem, maar met de soortelijke weerstand. Iedere keer is de weg, die het water aflegt namelijk verschillend en ook het oppervlak waar het water doorheen stroomt is telkens anders. De soortelijke weerstand houdt dan ook rekening met het oppervlak waardoor het water stroomt en de lengte van de afgelegde weg. Net als bij een koperdraad kun je de soortelijke weerstand als volgt berekenen:

$$\rho_{grond} = \frac{R \cdot A}{L}$$

waarin:

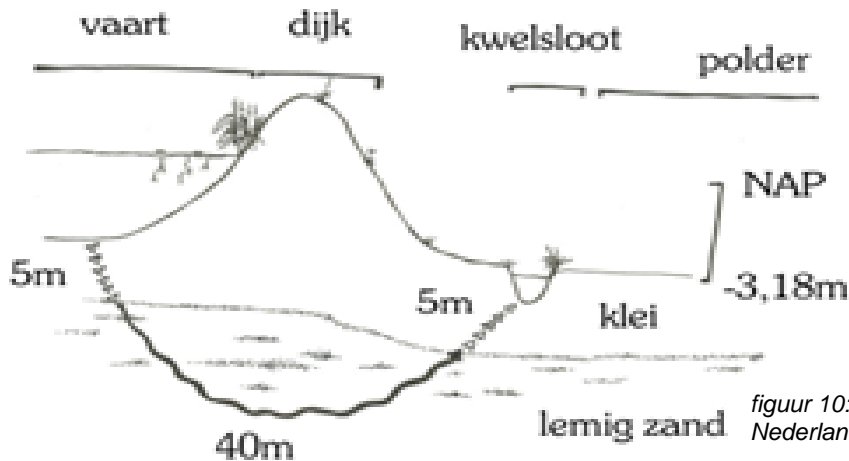
|                |  |
|----------------|--|
| $\rho_{grond}$ | de soortelijke weerstand (in s/m)  |
| R              | de weerstand zoals je hebt bepaald in de experimenten (in s/m <sup>2</sup> ) |
| A              | het doorstroomd oppervlak (in m <sup>2</sup> )                               |
| L              | de afgelegde weg (in m)  |

Hoe groter de poriën zijn, hoe lager de geboden weerstand en omgekeerd. Grote poriën komen voornamelijk voor bij zandbodems, die uit grote korrels bestaan. Omgekeerd bevinden zich kleine poriën tussen kleine korrels. Poriën tussen grote korrels kunnen bovendien opgevuld zijn door kleine korrels. Ook dan is de weerstand relatief hoog. De grofheid van het zand wordt gemeten door grond te zeven door een stapel van zeven met een verschillende maaswijdte. Gemakkelijker, maar ook minder nauwkeurig, is het om op het oog een schatting te maken met behulp van de 'zandlineaal'.



## Experiment D: In de praktijk.

In het volgende plaatje staat een doorsnede van een typisch Nederlands polderlandschap. Zoals je kunt zien, komen er twee verschillende materialen in de bodem voor: klei en lemig zand. In de volgende opdracht krijg je een indruk van de snelheid waarmee water zich verplaatst van de vaart naar de kwelsloot.



figuur 10: dwarsdoorsnede door een Nederlandse polder

Kijk eens naar de gestreepte lijn in figuur 10. Van links naar rechts passeert het water eerst een 5 meter dikke laag met klei, vervolgens gaat het water 40 meter door een laag met lemig zand en tenslotte weer door een laag van klei met een dikte van 5 meter. Zoals je ziet, staan de drie lagen in serie. Je kunt als volgt berekenen hoeveel water er op deze wijze de polder binnenstroomt via kwelwater.

D.1 Als je weet hoe groot de soortelijke weerstand is van de bodemlagen in de polder, dan kun je uitrekenen hoeveel water er de polder binnenstroomt. Neem hiervoor aan dat  $\rho_{\text{klei}}$  van de kleilaag 100 dagen/meter bedraagt en  $\rho_{\text{leem}}$  van de lemig zand laag 0,2 dag/meter. Reken met behulp van figuur 10 en de gegevens in de tekst uit hoeveel weerstand elk van de drie lagen levert. Baseer je berekening op een stroombaan met een doorsnede van **1 m<sup>2</sup>**.

$$R_{\text{klei}} (5 \text{ meter}) = \dots * \dots = \dots (\text{dag/m}^2)$$

$$R_{\text{leem}} (40 \text{ meter}) = \dots * \dots = \dots (\text{dag/m}^2)$$

$$R_{\text{klei}} (5 \text{ meter}) = \dots * \dots = \dots (\text{dag/m}^2)$$

D.2 Zoals opgemerkt, staan alle lagen achter elkaar, oftewel in *serie*. Bereken de totale weerstand  $R_{\text{totaal}}$ , die het water ondervindt dat via de pijl stroomt en vul je antwoord in op het antwoordblad.

De totale weerstand  $R_{\text{totaal}}$ , die het water ondervindt wat via de pijl stroomt:

$$R_{\text{totaal}} = \dots\dots\dots (\text{dag}/\text{m}^2)$$

D.3 Het hoogteverschil tussen het 'vertrekpunt' van het water bij de grote vaart en het 'aankomstpunt' bij de kwelsloot bedraagt 318 centimeter, oftewel  $\Delta H = 3,18$  meter. Bereken met  $Q = \Delta H / R_{\text{totaal}}$  hoeveel water per dag volgens de pijl stroomt.

De snelheid waarmee water volgens de pijl stroomt, bedraagt:

$$Q = \dots\dots\dots / \dots\dots\dots = \dots\dots\dots (\text{m}^3/\text{dag})$$

D.4 Je moet in herinnering roepen dat we voor het doorstroomd oppervlak (A)  $1 \text{ m}^2$  hebben genomen. In werkelijkheid is het oppervlak waar het water de polder binnenstroomt vele malen groter dan  $1 \text{ m}^2$ . Stel dat het oppervlak waardoor het water de polder binnenstroomt  $10.000.000 \text{ m}^2$  bedraagt ( $10 \text{ km}^2$ ). Om hoeveel  $\text{m}^3$  water per dag gaat het dan? Vul je antwoord in.

Om hoeveel  $\text{m}^3$  water per dag gaat het?  $\dots\dots\dots (\text{m}^3/\text{dag})$

D.5 Vergelijk het antwoord van je schatting van de hoeveelheid water dat een polder binnenstroomt uit de inleiding met het antwoord op de vorige vraag. Vind je dat er veel kwelwater via de gemarkeerde weg de polder binnenstroomt?

Vind je dat er veel kwelwater de polder binnenstroomt? Leg uit.

.....  
.....



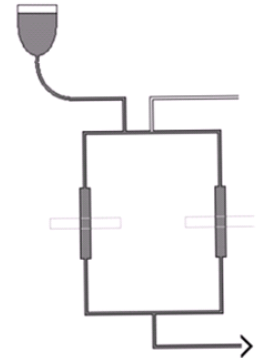
## Experiment E: De parallel weerstand bepalen van grof en fijn zand

### Theorie bij het experiment.

Bij parallel geschakelde weerstanden kun je, net zoals bij stroom, een vervangingsweerstand  $R_v$  berekenen. Je kunt de vervangingsweerstand berekenen aan de hand van de formule:

$$1/R_v = 1/R_{\text{grof}} + 1/R_{\text{fijn}}$$

E.1 Maak de opvang-maatcilinder leeg en bouw de opstelling om zoals afgebeeld in naaststaande figuur: het water kan gelijktijdig door de bovenste en onderste buis stromen. Laat de kraan aan de uitvoerslang nog even gesloten.



E.2 Herhaal de stappen A4 en A5.

E.3 Vul meetgegevens en uitkomsten van de berekeningen hieronder in.  
Bereken ook de vervangingsweerstand.

figuur 11: waterstroming door de buis met fijn en grof zand in parallelschakeling

### Antwoorden: grof en fijn zand in parallelschakeling

Hoeveelheid water, die in 3 minuten door beide buizen loopt (in ml):

.....

De stroomsnelheid  $Q$  is dus (in  $\text{cm}^3/\text{s}$ ): .....

Het hoogteverschil  $\Delta H$  is (in cm): .....

De weerstand van de parallelschakeling is (in  $\text{s}/\text{cm}^2$ ): .....

De theoretische vervangingsweerstand bedraagt (in  $\text{s}/\text{cm}^2$ ), gebruik de waarden gevonden bij onderdeel A&B:

.....

Komt de theoretische waarde overeen met de gemeten waarde? Leg uit.

.....

.....

## Conclusie en suggesties voor een vervolgonderzoek.

Zoals je hebt gezien maakt het voor de stroomsnelheid heel veel uit uit welk materiaal de ondergrond bestaat: hoe fijner, hoe lager de stroomsnelheid.

Gelukkig maar dat het grootste gedeelte van laag-Nederland bestaat uit het fijnste materiaal: (oude en jonge zee)klei. Als daar geen klei maar grof zand had gelegen dan had de mens er nooit kunnen gaan wonen! Deze gunstige situatie is echter geen 'toevalligheid'.

Als je deze module met plezier hebt gemaakt, dan kun je haar - in overleg met je docent - uitbreiden tot een Praktische Opdracht of je kunt er zelfs jouw profielwerkstuk over schrijven. Hieronder vind je een aantal suggesties. Mocht je inderdaad deze module willen uitbreiden, **dan is de Universiteit van Amsterdam je daar graag bij behulpzaam**. Je kunt gebruik maken van kennis en materiaal, wat daar aanwezig is. Bij je docent kun je terecht voor het postadres en e-mailadres.

### Vervolgonderzoek:

#### 1. Hoe oud is het grondwater op de Veluwe?

In deze module heb je berekend hoe snel water door verschillende grondsoorten stroomt. Met behulp van een kaart met een doorsnede van de Veluwe en gegevens over de grondsoort die je er aantreft, kun je berekenen hoe oud het water is dat daar aan de oppervlakte komt.

#### 2. Drainage van je achtertuin of van jouw omgeving.

Met behulp van grondwaterpeilbuizen - die je op de UvA in bruikleen kunt krijgen - kun je metingen verrichten aan het stromen van grondwater in jouw eigen omgeving. Misschien woon je wel vlak bij een dijk, een heuvel of in een gebied met een ondergrond die interessant in elkaar steekt. Je kunt zo onderzoeken of de theorie van deze module de werkelijkheid goed beschrijft.

#### 3. Hoe schoon is jouw achtertuin?

Water stroomt door de bodem, soms wat sneller en soms wat minder snel. Maar water is niet schoon, het voert allerlei stoffen met zich mee. Door dit experiment te combineren met een ander experiment 'hoe schoon is jouw achtertuin', krijg je inzicht in het transport van verschillende stoffen door de bodem: sommige spoelen door de bodem heen, andere blijven in de bodem achter en zorgen voor verontreiniging.

#### 4. Overstromingen in het rivierengebied.

Hoewel het op het eerste gezicht heel anders lijkt, is de werking van de afvoer van een rivier ook met de Wet van Ohm te beschrijven. Met behulp van een perspex gootje - dat je op de UvA in bruikleen kunt krijgen - boots je waterstroming in een rivier na. Aan de hand van de meetresultaten kun je daar een model van maken waarmee je voorspellingen kunt doen: hoe hoog wordt de waterstand wanneer er meer water door de bedding stroomt (versterkt broeikas-effect!) of hoe wordt de waterstand beïnvloed door de hellingshoek van de rivier?

