

## OP GROND VAN ISOLATIE



### **natuurkunde onderzoek:**

Naam: .....

## Inleiding:

Je kent het verschijnsel vast wel: je loopt met blote voeten op een tegelvloer en het voelt koud aan, loop je op een houten vloer, dan voelt het warm aan. Toch zijn de stenen en houten vloer even warm. Je zou dat kunnen nameten. De reden dat ze toch anders aanvoelen, is dat hout en steen andere warmtegeleidende eigenschappen hebben.

De mate waarin een stof warmte geleidt, wordt met de warmtegeleidingscoëfficiënt weergegeven. Deze coëfficiënt kun je voor iedere stof vaststellen, m.a.w. het is een stoffeigenschap.



*figuur 1: hout voelt warmer aan dan tegels*

Omdat je voeten warmer zijn dan de vloer, wordt er warmte aan je voeten onttrokken. Op een tegelvloer gaat dat sneller dan op een houten vloer. Daardoor koelen je voeten snel af en dat voel je. In de bouwnijverheid zijn de warmtegeleidende eigenschappen van bouwmaterialen belangrijke gegevens. Een woning met enkel glas en een enkelsteens muur is koud in de winter, een woning met dubbele beglazing en dubbelsteens muren daarentegen is dan juist behaaglijk. Maar het is niet alleen de warmtegeleiding zèlf die de behaaglijkheid bepaalt. Zo bestaan een enkel- en dubbelsteens muur beide uit steen.

Blijkbaar is voor isolatie niet alleen de materiaalsoort, maar ook de dikte van belang. Het gebruik van de ondergrond ten behoeve van uiteenlopende functies als transport, opslag, wonen, werken en vrijetijdsbesteding, kan in Nederland een zeer kansrijke onderneming zijn. Zo raken de huizenbouwers in Nederland steeds meer geïnteresseerd in ondergronds bouwen. Daarom wordt onder andere onderzoek gedaan naar de warmtegeleidende eigenschappen van verschillende grondsoorten. Het blijkt namelijk dat niet alle grondsoorten dezelfde warmtegeleidende eigenschappen hebben. Ook maakt het veel uit of een grondsoort droog of nat is en welke kleur die heeft.

Wat is op grond van isolatie verkieslijker: traditioneel bouwen boven de grond of vooruitstrevend eronder? Naar het antwoord op deze vraag ga je in deze lesmodule op zoek.



figuur 2: ook de Hobbits uit 'Lord of the Rings' wonen ondergronds ...

### Doelstellingen.

Het doel van deze module is om inzicht te krijgen in de mate van isolerende werking van verschillende grondsoorten met verschillende vochtgehalten.

Na afloop:

- weet je dat warmte zich kan voortplanten in een bodem;
- weet je welke grondsoort goed isoleert en welke slecht;
- weet je hoe vocht en kleur de geleidbaarheid beïnvloeden;
- kun je op basis van het verloop van de temperatuur in een bodem de geleidbaarheid ervan berekenen;
- kun je aan temperatuurgrafieken zien welke richting een warmtestroom heeft;
- kun je op basis van temperatuurgrafieken inschatten welke bodem goed en welke slecht geleidt.

### Opzet van het experiment.

Je beschijnt twee bodemmonsters van bovenaf met een sterke lamp. Hierdoor treedt er een stroming van warmte op van boven in het monster naar beneden. Met behulp van thermometers houd je het temperatuurverloop op twee dieptes in elk grondmonster bij. Uit deze gegevens bereken je de geleidbaarheid van elk van de beide monsters. Vervolgens vergelijk je de experimenteel bepaalde waarden met de geleidbaarheid van enkele bouwmaterialen. Op grond hiervan maak je een inschatting van de toekomst van ondergronds bouwen.



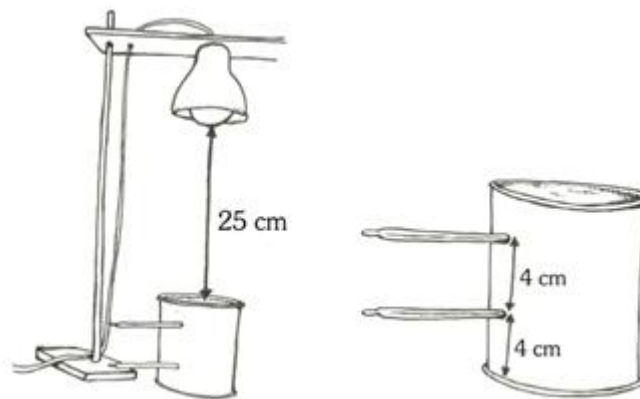
figuur 3: drie natuurlijke materialen: zand, grind en turf

## Benodigheden:

- 2 lampen van 150W bevestigd aan een plank
- 2 statiefklemmen
- 1 stopwatch of U Lab
- 4 thermometers of 4 temperatuursensoren voor U-Lab
- 2 grondmonsters (zand en potgrond)
- 2 statieven
- 2 blikjes van 12 cm hoogte, (met openingen in de zijkant op 4 cm en op 8 cm vanaf de bodem gemeten, fig. 5)
- kurk met een gat (waar thermometer in past)



figuur 4: de benodigheden



Figuur 5: De proefopstelling

## A: Experiment met de U-lab

0. De U lab van Coach (meet software) is een kastje waarmee tegelijkertijd met vier temperatuursensoren kunt meten. De metingen worden opgeslagen en je kunt ze dus ook uitlezen.

De U-Lab (zie fig. 6.), die geleverd worden bij dit experiment staan al ingesteld om te meten op temperatuur op 4 ingangen. Meten doe je door op het pijltje te drukken en stoppen door nog een keer op het pijltje te drukken. Als je op het huisje druk ga je naar de begin toestand.



Figuur 6: U lab

- 1 Neem twee verschillende grondmonsters en doe deze in de blikken. Maak een keuze uit: een droog stuifzandmonster, een nat stuifzandmonster, een droog veenmonster en een nat veenmonster.
- 2 Bouw de proefopstelling zoals afgebeeld in figuur 4 en 5. De afstand van de lamp tot de bovenkant van het grondmonster moet 25 centimeter zijn. Druk de thermometers voorzichtig in de openingen aan de zijkant van het monster, zover zodat ze zich in het midden van de kolom bevindt. De bovenste thermometer moet zich juist onder de oppervlakte bevinden. Laat de lamp nog even uit. Wacht tot de thermometers allemaal dezelfde waarde aanwijzen.
- 3 Zet de lampen aan en start de meting in op de U lab. Meet gedurende 30 minuten met de lampen aan. Doe de lampen na 30 minuten uit en meet nog 14 minuten door.
- 4 Tijdens de meting heb je voldoende tijd om een ondergrondse woning te ontwerpen.  
Waar in Nederland zou je deze bouwen en waarom? Geef twee argumenten.

.....

.....

.....

Aan wat voor eisen moet een dergelijke woning voldoen? Teken de woning en maak de lijst van eisen op een A4.

- 5 Aan het einde van de meting sla je de gegevens op en begin je met onderdeel B.



## B: Berekening

Uit je metingen kun je een schatting doen van de warmtegeleidbaarheid ( $W/m \cdot K$ ) van beide bodemmonsters.

Hiertoe moet je een viertal stappen ondernemen.

*stap 1: berekening van de hoeveelheid warmte  $Q$  in de bodemkolom*

### Opdracht 1

Bereken de hoeveelheid warmte in bodemkolom 1 en 2 op tijdstip  $t = 0$  minuten en  $t = 30$  minuten met behulp van de formule:

$$Q_0 = c_g \cdot \Delta z \cdot T$$

Waarin:

- $Q_0$  warmte per oppervlak in de bodemkolom ( $J/m^2$ )
- $C_g$  'soortelijke warmte' per volume van de grond (in  $J/m^3 \cdot K$ )
- $\Delta z$  hoogte van de bodemkolom (in m)
- $T$  temperatuur van de onderste thermometer (in K)

De waarde van de soortelijke warmte  $c$  van verschillende grondsoorten (met verschillend vochtgehalte) kun je opzoeken in de tabel:

grondsoort	watergehalte (in %)	soortelijke warmte (in $J/(m^3 \cdot K)$ )
zandbodem	0 (droog)	$1,28 \cdot 10^6$
	40 (nat)	$2,96 \cdot 10^6$
veenbodem	0 (droog)	$0,58 \cdot 10^6$
	40 (nat)	$2,31 \cdot 10^6$

Antwoord:

.....

.....

.....

.....



*stap 2: berekening van de bodemwarmtestroomdichtheid in beide kolommen*

Uit het verschil tussen het temperatuurverloop van de bovenste en de onderste thermometer in één bodemkolom nadat je de lamp hebt uitgezet, kun je afleiden dat er werkelijk sprake is van een warmtestroom van boven naar beneden.

**Opdracht 2**

Hoe kun je dat zien?

De gegevens uit stap 1 kun je in de volgende formule invullen om de bodemwarmtestroomdichtheid (in  $W/m^2$ ) te berekenen:

$$B = \frac{Q_1 - Q_2}{1800}$$

Waarin:

- B bodemwarmtestroomdichtheid (in  $W/m^2$ )
- $Q_1$  warmte in de bodemkolom ( $J/m^2$ ) na een half uur
- $Q_2$  warmte in de bodemkolom ( $J/m^2$ ) voor aanvang van de proef

(1800 staat voor het aantal seconden in het halve uur wat de proef duurt.)

Bereken de waarde van de bodemwarmtestroomdichtheid.

.....

.....

.....

*stap 3: berekening van het warmtegeleidingsvermogen*

De laatste berekening behelst het bepalen van de warmtegeleiding uit de bodemwarmtestroomdichtheid aan de hand van de volgende formule:

$$B = -\lambda \frac{T_1 - T_2}{z_1 - z_2}$$

Waarin:

- B bodemwarmtestroomdichtheid (in  $W/m^2$ )
- $\lambda$  warmtegeleidbaarheid (in  $W/m \cdot K$ )
- $T_1$  temperatuur (in K) van de bovenste thermometer op  $t=30$  minuten
- $T_2$  temperatuur (in K) van de onderste thermometer op  $t=30$  minuten
- $z_1 - z_2$  afstand tussen de thermometers (in m)

(het min teken geeft aan dat de warmtestroom de grond in is!)



**opdracht 3**

Bereken  $\lambda$  voor beide grondmonsters.

.....

.....

.....

*stap 4: vergelijking van de warmtegeleiding van de grondsoort, die jij hebt gekozen met gebruikelijke bouwmaterialen*

**opdracht 4**

Zoek in Binas de  $\lambda$  van baksteen, piepschuim (polystyreen) en glas op en noteer de gevonden waarden.

$\lambda$  baksteen.....

$\lambda$  piepschuim.....

$\lambda$  glas.....

**opdracht 5**

Vergelijk de gevonden waarden met die van de grondsoorten. Hoe verhouden zich de warmtegeleidende eigenschappen?

.....

.....

.....

**opdracht 6**

Beschrijf het verschil tussen droge en natte grond of tussen zand en veen (naar gelang de twee monsters, die je gekozen hebt).

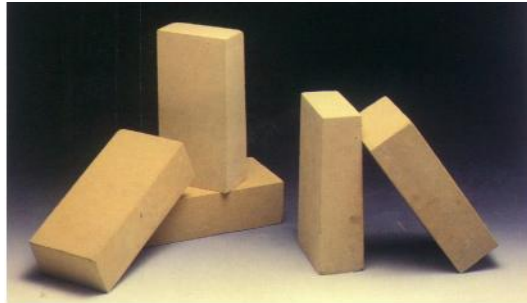
.....

.....





Een groot verschil tussen een gebruikelijk huis en een ondergrondse woning is, dat de muren in het eerste geval zo'n 30 cm dik zijn (tweemaal 10 cm baksteen en 10 cm steenwol) en dat een ondergrondse woning een 'grondmuur' heeft van vele meters dik.



*figuur 7: het verschil tussen de warmteisolerende eigenschappen zit niet alleen in de materiaalsoort, maar ook in de dikte*

**vraag 7**

Rekening houdend met alles uit deze module (natte en droge grond, dikte van de muren etcetera), hoe schat jij de isolerende eigenschappen van een ondergronds huis in? Leg uit.

.....

.....

.....



## In de praktijk:

In de Aardwetenschappen wordt de bodem in al haar facetten bestudeerd. Eén van die facetten is warmtegeleiding. Warmtegeleiding lijkt iets onbelangrijks in de natuur, maar dat het tegendeel waar is blijkt wel uit de volgende twee voorbeelden.

### *voorbeeld 1*

Over het algemeen wordt er in de media verontrust gereageerd wanneer er ergens een bosbrand plaatsvindt, maar in ecologisch opzicht kan een bosbrand juist heel goed zijn. Er treedt een verjonging op in het bos en verse scheuten maken gebruik van de voedselrijke as. Het feit dát er na een bosbrand weer jonge scheuten kunnen opschieten is te danken aan de (droge) bodem die een lage warmtegeleidingcoëfficiënt heeft. Zaden, die zich op 10 cm of dieper onder het oppervlak bevinden, zijn beschermd tegen de hoge temperaturen die bij een felle brand kunnen ontstaan.



*figuur 8: bosbranden kunnen juist heel goed zijn voor de natuur*

### *voorbeeld 2*

Een tweede voorbeeld is het dempende effect dat de bodem heeft op de dagelijkse fluctuatie van de zonnestraling. De toplaag van de bodem kan op zomerse dagen op het heetst van de dag wel 50 graden worden en in de opvolgende nacht bij onbewolkte hemel afkoelen naar het vriespunt. De temperatuur wisselt maar liefst 50 graden. Niet alle bodemleven is daar even goed tegen bestand. De warmte van de toplaag wordt langzaam doorgegeven aan de diepere lagen. Op grotere diepte neemt daardoor de temperatuurfluctuatie sterk af. Op een bepaalde diepte is de bodemtemperatuur gedurende het hele jaar zelfs nagenoeg constant. Dat biedt meer perspectief voor bodemleven.

## Suggesties voor een vervolgonderzoek.

In deze module heb je in kort bestek een indruk gekregen van de warmtegeleidende eigenschappen van grond. Maar het kan natuurlijk allemaal veel nauwkeuriger. En ook een ondergrondse woning heeft muren en ramen. Je zou deze module dan ook uitstekend als basis kunnen gebruiken voor een praktische opdracht of voor jouw profielwerkstuk. Hier volgen enkele ideeën.

### 1 ontwerp een woning

Je zou een energiezuinige woning kunnen ontwerpen. Daarvoor komt bijvoorbeeld isolatie aan de orde zoals in deze module is besproken. Maar ook zaken als zonneënergie, de oriëntatie van de woning, plaatsing van muren, kleuren etcetera hebben invloed. Met behulp van natuurkunde en een vaardige tekenhand ontwerp je het energiezuinige huis van de toekomst.

### 2 bouwen in het poolgebied

In de koude gebieden op aarde is bouwen een probleem: de bovengrond is afwisselend bevroren of ontdooid. Hierdoor is de bovengrond soms stevig, soms slap. Huizen zullen verzakken wanneer ze op de gebruikelijke manier worden gefundeerd. Echter, door het dempende effect van de bodem op temperatuurfluctuaties is er op een bepaalde diepte een heel ander temperatuurregime. In een werkstuk zou je een voorbeeld uit de praktijk kunnen analyseren: wat komt er zoal kijken bij bouwen in de kou?

### 3 alternatieve bouwmaterialen

In de bouwwereld wordt gezocht naar goedkope en effectieve bouwmaterialen. Daarvoor komen veel producten in aanmerking: schelpen, schapewol, stro. Je zou fabrieken kunnen bezoeken en interviews kunnen houden om uit te vinden wat er zoal speelt en wat de ontwikkelingen zijn. In combinatie met economie kun je bijvoorbeeld inzicht krijgen in de prijzen van kleinschalige bouwprojecten met 'nieuwe' materialen en zou je een haalbaarheidsstudie kunnen maken.

### 4 ondergronds planten- en dierenleven

Niet alle planten en dieren kunnen tegen heftige temperatuurschommelingen. Daarom leven ze soms diep ondergronds. Padden kruipen in de winter onder de modder bijvoorbeeld. Met behulp van kennis uit de biologie zou je een onderzoek kunnen doen naar bodemleven.

