



# ERATOSTHENES EXPERIMENT LEERKRACHTENHANDLEIDING

## INLEIDING

Reeds in de derde eeuw voor Christus bepaalde de Griek Eratosthenes de omtrek van de aarde, zonder Egypte te verlaten. Zijn schatting werd voor honderden jaren na zijn dood aanvaard en was de meest nauwkeurige schatting totdat de mens in staat was om naar de ruimte te gaan.

Laat je leerlingen zelf in de voetsporen treden van Eratosthenes door hun eigen meting van de omtrek van de aarde te laten maken zonder hun school te verlaten! U zal zien dat het een leuk en een éénvoudig experiment is! Dit document geeft u hiervoor de nodige informatie (achtergrond, werkwijze en referenties).

De activiteit werd uitgewerkt in het kader van het Sun Shadows-project, waarbij leerlingen en leerkrachten wereldwijd de schaduwen van een 1m lange stok meten en deze verzamelen in een online database (Fig. 1). Zowel aardrijkskunde leerkrachten (bewegingen van de aarde in ons zonnestelsel) als wiskunde leerkrachten (goniometrie) kunnen vervolgens aan de slag met deze data. Het Sun Shadows-project is een educatief project van de International Polar Foundation ([www.polarfoundation.org](http://www.polarfoundation.org)) en het Museo Nazionale dell'Antartide ([www.mna.it](http://www.mna.it)).



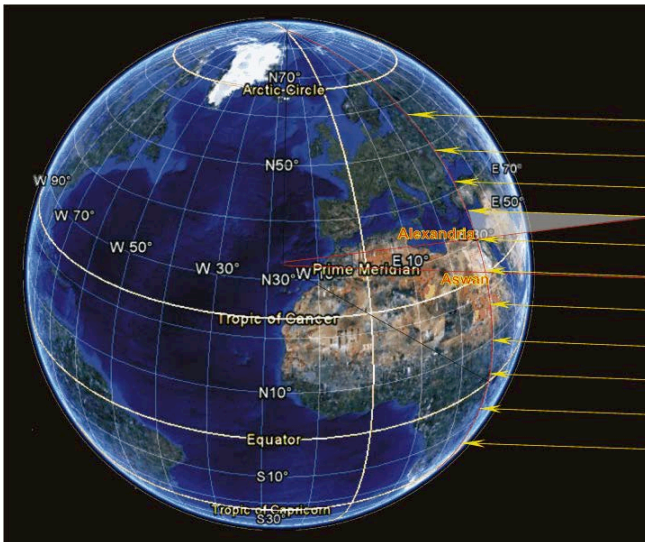
Figuur 1: Het uitvoeren van het Sun Shadows-experiment door (a) leerkracht Mariacira Veneruso nabij het Italiaanse onderzoeksstation op Antarctica, Mario Zucchelli, (b) leerkracht Koen Meirlaen nabij het Princess Elisabeth Antarctica-basis en (c) het educatieve team van de International Polar Foundation in Brussel.

## ACHTERGROND

Een leuke inleiding tot de opdracht is het filmpje waarin Carl Sagan het experiment van Erastosthnes uitlegt.

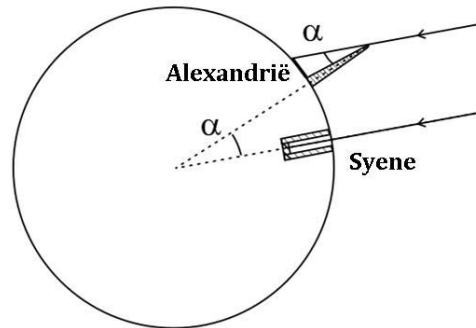
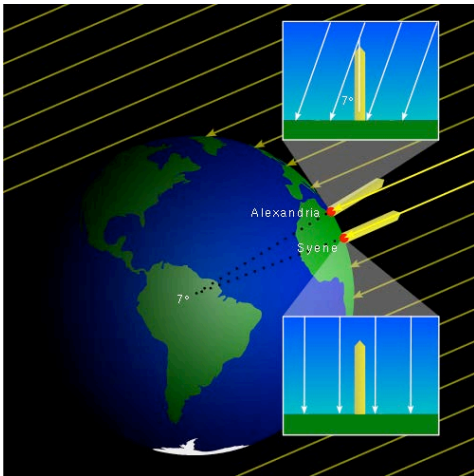
[http://www.youtube.com/watch?v=0JHEqBLG650&feature=player\\_embedded#at=27](http://www.youtube.com/watch?v=0JHEqBLG650&feature=player_embedded#at=27)

Als hoofdbibliothecaris las Eratosthenes veel documenten en ontdekte dat in de oude Egyptische stad Swenet (bekend in het Grieks als Syene, en in de moderne dag als Aswan), dat vlak bij de kreeftskring ligt, op een bepaalde dag van het jaar het zonlicht het oppervlak van een waterput bescheen. Hij redeneerde dat op dat moment de zon loodrecht erboven moest staan. Bovendien wist hij dat er in Alexandrië geen dag was dat de grote Obelisk geen schaduw wierp. Op basis van deze gegevens begon hij aan zijn experiment, waarbij hij veronderstelde dat de aarde bolvormig is en dat de zonnestralen parallel invallen op het aardoppervlak (Fig. 2).



Figuur 2: Eratosthenes veronderstelde dat de aarde bolvormig is en dat de zonnestralen parallel invallen op het aardoppervlak. (c) EAAE-European Association for Astronomy Education (<http://www.eaae-astronomy.org/eratosthenes/>)

Op de dag dat de zon loodrecht aan de hemel stond in Syene mat hij de hoek waaronder de zon inviel in Alexandrië (Fig. 3). Eratosthenes wist uit de goniometrie dat de grootte van de gemeten hoek gelijk was aan de grootte van de hoek tussen Syene en Alexandrië, gemeten vanaf het centrum van de aarde. Daarnaast moest hij de afstand tussen Syene en Alexandrië kennen. Er bestaan verschillende versies van hoe hij deze waarde vond, de meest populaire is dat hij een slaaf uitzond om de afstand te meten in voetstappen. De waarde die hij gebruikte in zijn berekeningen was 5000 stadia (1 Egyptische stadium is ongeveer 157,5 m, hoewel de exacte grootte van het stadium vaak een thema van discussie is).



Figuur 2: Het experiment. Eratosthenes wist uit de goniometrie dat de grootte van de gemeten hoek gelijk was aan de grootte van de hoek tussen Syene en Alexandrië, gemeten vanaf het centrum van de aarde.  
 (c) 2100 the Trustees of the Stevens Institute of Technology, Hoboken, NJ 07030

Op basis van deze informatie berekende hij dat de omtrek van de aarde 39 817 km was. Deze uitkomst wijkt minder dan 1% af van de gangbare waarde, namelijk 40 007.86 km. Hij gebruikte hiervoor een eenvoudige formule die zegt dat de verhouding tussen de afstand langsheen de meridiaan ( $d$ ) en het verschil in breedtegraad ( $\alpha$ ) gelijk is aan de verhouding tussen de omtrek van de aarde ( $P$ ) en de hoek van een cirkel ( $360^\circ$ ).

$$d / P = \alpha / 360^\circ$$

$$\begin{aligned} P &= 5000 \text{ stadia} \times 360^\circ / 7.12^\circ \\ &= 5000 \text{ stadia} \times 0.1575 \text{ km} \times 360^\circ / 7.12^\circ \\ &= 39\,817 \text{ km} \end{aligned}$$

## ZELF AAN DE SLAG - WERKWIJZE

### Kies je tweede locatie

Door het experiment uit te voeren op een moment dat de zonnestralen loodrecht invallen op de evenaar, de kreeftskeerkring of de steenbokskeerkring wordt de opdracht eenvoudiger. Immers, wordt er geen schaduw gevormd wanneer men een stok op locatie gelegen op één van deze breedtegraden plaatst op het moment dat de zon er in zenith opstaat, zoals dit ook het geval was in Syene.

Je kan ook kiezen voor een ander moment en een andere plaats, door gebruik te maken van de database van het Sun Shadow project op de educatieve sectie van de website van Maciste Ice.

<http://www.ice.macisteweb.com/sun-shadows-data/sun-shadows-data>

Door de Stichting Universum werd een opdracht voor de derde graad hierrond uitgewerkt. Het is een oefening rond boldriehoeksmmeetkunde.

<http://sterrenkunde.nl/anw/omtreaarde.html>

### Meet het verschil in breedtegraad tussen beide locaties ( $\alpha$ )

Het verschil in breedtegraad kan worden bepaald door de hoek te berekenen waaronder het zonlicht invalt op de aarde (Fig. 3).

#### Meten van de schaduw

Laat de leerlingen de schaduw van een 1m lange stok meten op het moment dat de zon op haar hoogste punt staat (culminatietijd). Volg hiervoor de instructies in de leerkrachtenhandleiding van het Sun Shadows project.

[http://www.educapoles.org/uploads/documents\\_files/sun\\_shadow\\_project\\_leerkrachtenhandleiding.pdf](http://www.educapoles.org/uploads/documents_files/sun_shadow_project_leerkrachtenhandleiding.pdf)

Vul zeker ook je gegevens in in de database van het Sun Shadows project en neem zo deel aan een internationaal educatief project!

<http://www.ice.macisteweb.com/education/sun-shadows-project>

#### Berekening van de hoek waaronder het zonlicht invalt ( $\alpha$ )

Via volgende formule kan  $\alpha$  berekend worden

$\alpha = \arctan(\text{lengte van de schaduw} / \text{lengte van de stok})$

#### Berekening van het verschil in breedtegraad

Aangezien geldt dat als twee evenwijdige lijnen worden gesneden door een derde lijn, de hoeken congruent zijn, kunnen we afleiden dat de hoek  $\alpha$  gelijk is aan het verschil in breedtegraad tussen de twee locaties (Fig. 3).

### **Bepalen van de afstand tussen de twee locaties (d)**

Laat de leerlingen de afstand tussen de twee locaties bepalen door gebruik te maken van een kaart of google earth (via het icoon liniaal). Hierbij wordt de afstand langs de meridiaan vanaf de locatie van de school naar de plaats waar de zon in zenith staat gemeten.

### **Bereken de omtrek van de aarde (P)**

Laat de leerlingen nu de berekeningen van Eratosthenes uitvoeren op basis van de formule die hij gebruikte.

$$d / P = \alpha / 360^\circ$$

Hierbij beschouwen we de aarde als zuiver bolvormig, waarbij de zonnestrallen parallel invallen.

## REFERENTIES

### **Gerelateerde websites**

Les rond de bewegingen van de aarde in ons zonnestelsel

[http://www.begeleidzelfstandigleren.com/aardrijkskunde/vijfdes/kosmografie/4 de bewegingen van de aarde in het zonnestelsel aardrevolutie verbetering.html](http://www.begeleidzelfstandigleren.com/aardrijkskunde/vijfdes/kosmografie/4%20de%20bewegingen%20van%20de%20aarde%20in%20het%20zonnestelsel%20aardrevolutie%20verbetering.html)

Het concept bolvormige aarde

[http://nl.wikipedia.org/wiki/Bolvormige\\_Aarde](http://nl.wikipedia.org/wiki/Bolvormige_Aarde)

Presentatie over gravitatie uitgewerkt door het Barlaeusgymnasium, Amsterdam

<http://www.barlaeus.nl/onderwijs/nlt/gravitatie.pdf>

Les over het Eratosthenes experiment uitgewerkt door American Society for Engineering Education

<http://teachers.egfi-k12.org/lesson-measure-the-earths-circumference/>

### **Andere Eratosthenes projecten**

EAAE Eratosthenes Project – European Association for Astronomy Education. Dit project werd georganiseerd op 21 juni 2011, maar de website biedt educatief materiaal en verschillende berekeningstools aan.

<http://www.eaae-astronomy.org/eratosthenes/>

Eratosthenes experiment – Youth Net.

Neem deel aan dit wereldwijd experiment dat tweemaal per jaar wordt georganiseerd, op het moment van de equinox, sinds 1997.

<http://www.youth.net/eratosthenes/>

The Noon Day project - The Center for Innovation in Engineering and Science Education

Een gelijkaardig project, waarbij je ook je data kan ingeven en zo deelnemen aan een wereldwijd experiment.

<http://www.ciese.org/curriculum/noonday/>

-----

*Het project steunt op een bestaand initiatief dat reeds door de European Association for Astronomy Education is uitgevoerd en verder is uitgewerkt.*

<http://www.eaae-astronomy.org/eratosthenes/>