Docentenhandleiding bij Tellurium N ©
180409

Inhoudsopgave

Algemene opmerkingen
Doorlopende leerlijn Aardrijkskunde (PO) en Algemene Natuur Wetenschappen (VO)
Belangrijke onderdelen van het tellurium en de werking
Leseenheden voor het werken met het tellurium
Introductie: Van zijn eigen schaduw naar het schaduwfiguurtje op de wereldbol van het tellurium
We verbazen ons over de lengte van onze schaduw tijdens de verschillende seizoenen
1. De aarde, een gyroscoop in de ruimte
2. Dag en nacht
   1. Dag en nachtzijde
   2. De aarde draait zich om zich zelf (aardrotatie tegen de wijzers van de klok in)
   3. Hoe zien we op de wereldbol dat het middag is?
   4. Het hele jaar door gelijke lengte van dag en nacht op de evenaar (zie ook les 7).
3. Middaglijn en uurindeling
   1. Alle plaatsen op de middaglijn (meridiaan) hebben tegelijkertijd middag.
   2. Op het zuidelijk halfrond schijnt de zon vanaf het noorden (in de tropen echter alleen maar tijdelijk)
   3. Het uur als een 24ste deel van een dag
   4. De verdeling van de uren over de aarde
   5 De datumgrens
4. Pooldag en Poolnacht
5. De keerkringen en de tropen
6. De seizoenen
   1. Zomer op het noordelijk halfrond (Nord-Sommer / Süd-Winter)
   2. Herfst op het noordelijk halfrond (Süd-Frühling)
   3. Winter op het noordelijk halfrond (zomer op het zuidelijk halfrond)
   4. Lente op het noordelijk halfrond (herfst op het zuidelijk halfrond)
7. Dag- en nachtlengte op verschillende breedtegraden
8. De tijden van de dag
   1. Middenbreedtegraden
   2. Keerkring
   3. Evenaar
9. De maanfasen
   1. De maan toont ons altijd maar een kant
   2. De maanfasen
10. De verduisteringen
   1. Maansverduistering
   2. Zonsverduistering
11. De getijden
12. Meting van de omtrek van de aarde
13. Geostationaire satelliet
Begrippen

Algemene opmerkingen

Een tellurium (Lat. tellus is aarde) is een apparaat om de bewegingen van de aarde en de maan te demonstreren. Op een hefboomarm draaien deze hemellichamen rond een lichtbron, die de zon moet voorstellen.
Talrijke verschijnselen in ons zonnestelsel kunnen aan de hand van het tellurium, een driedimensionaal model, beter worden getoond dan welk leermiddel dan ook. Zo zijn bijvoorbeeld overhead transparanten, als het om de voorstelling van de aarde als een gyroscoop (ronddraaiend lichaam) in de ruimte gaat volledig ongeschikt. Het zelfde geldt voor het inzicht in de dynamiek van de jaargetijden (de seizoenen) en de dagen.
In het tijdperk van de satellieten, schotelantennes, de ruimtevaart en het droomberoep van vele scholieren – astronaut – neemt de betekenis van het heelal voor ons steeds meer toe. Daarom moeten we dan ook meer aandacht besteden aan deze processen op school dan tot nu toe.
Waarom worden telluria tegenwoordig zo weinig gebruikt?

1. Op de eerste en tweede graads lerarenopleiding worden sterrenkundige onderwerpen niet meer vanzelfsprekend geleerd, of zijn niet meer in het curriculum van de school opgenomen, hoewel het heelal op grond van technische ontwikkelingen een voortdurend groeiende betekenis voor de mensen is.
2. De tot nu toe op de markt verschenen telluria zijn niet zo helder verlicht en bevatten niet zo veel mogelijkheden als dit model.

Het Tellurium N met talrijke gepatenteerde nieuwigheden werd door professor dr. Jürgen Newig van het Geographisches Institut van de Universiteit van Kiel ontwikkeld in samenwerking met Cornelsen Experimenta.

Het tellurium is dus ontworpen om er handelingen mee te doen, dat betekent dat de processen niet vanzelf gaan, maar worden uitgevoerd door de leerlingen die zo veel kennis vergaren. Zo wordt de hefboomarm voor de demonstratie van de seizoenen door een leerling met de hand gericht, terwijl een tweede leerling de aarde om zijn eigen as laat draaien.
Als vuistregel geldt: alle processen met het tellurium worden tegen de wijzers van de klok uitgevoerd. Dat begint met de complete draai van de hefboomarm terwijl men gefocust is op de seizoenen (houdt het handvat van de hefboomarm vast), en dat geldt ook voor de draaiing van de aarde om zijn eigen as, de aardrotatie en tenslotte voor de draaiing van de maan om de aarde.

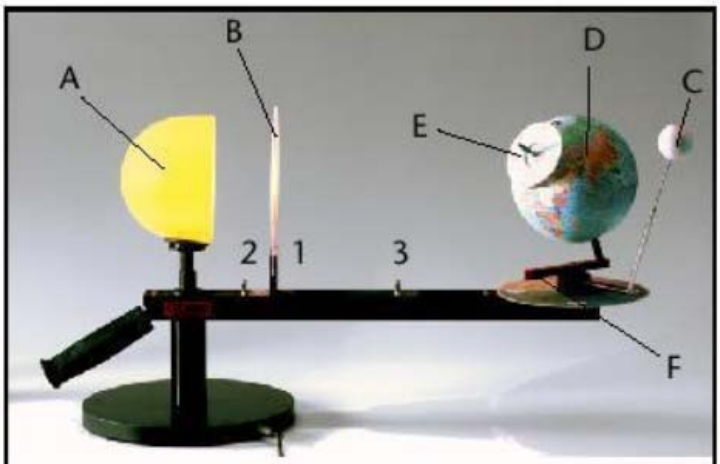
De levering
Het tellurium omvat de volgende losse onderdelen:

- Tellurium basisapparaat met Fresnel-lens en horizonschijf met schaduwfiguur
- Satelliet pen
- viltpen, water-oplosbaar
- reinigingsdoekjes, 2 stuks
- Lage druk halogeenlamp 12V/20W (ter vervanging)
- verlengsnoer met stekker, 5m
- hoofdstekker met snoer en houder
- Stofhoes
- Gebruikshandleiding
- Voor leergang 7 is rode en blauw kneedbaar modelleringmateriaal noodzakelijk (een pak van 10 staven Plastilin, gesorteerd naar kleur)

Doorlopende leerlijn Aardrijkskunde (PO) en Algemene Natuur Wetenschappen (VO)

Concepten	PO, Oriëntatie op jezelf en de wereld	Onderbouw VO, Mens en natuur	3 lj VO	Tweede Fase VO
Zonnestelsel en heelal	Nr. 42: De leerlingen leren onderzoek doen aan het verschijnsel kracht. Nr. 46: De leerlingen leren dat de positie van de aarde ten opzichte van de zon, seizoenen en dag en nacht veroorzaakt.	Nr. 29: De leerling leert kennis te verwerven over en inzicht te verkrijgen in sleutelbegrippen op het gebied van de niet-levende natuur en leert deze sleutelbegrippen te verbinden met situaties in het dagelijks leven. Nr. 31: De leerling leert o.a. door praktisch werk kennis te verwerven over en inzicht te verkrijgen in processen uit de niet-levende natuur en hun relatie met omgeving en milieu. Nr. 32: Leren werken met theorieën en modellen door onderzoek te doen aan de verschijnselen kracht en beweging.		**Domein F: Zonnestelsel en heelal** **Subdomein F1:** Kenmerken van het zonnestelsel en het heelal: de bouw en geschiedenis van het zonnestelsel en het heelal aan leken uitleggen. **Subdomein F2:** Zonnestelsel en heelal in het dagelijkse leven: de invloed van en de kennis over het zonnestelsel en het heelal op het dagelijks leven aangeven en beschrijven hoe gegevens over het zonnestelsel en het heelal verzameld worden. **Subdomein F3:** Ontstaan van kennis over het heelal: de ontwikkeling van kennis en ideeën over de bouw en geschiedenis van het zonnestelsel en heelal beschrijven.

Belangrijke onderdelen van het tellurium en de werking



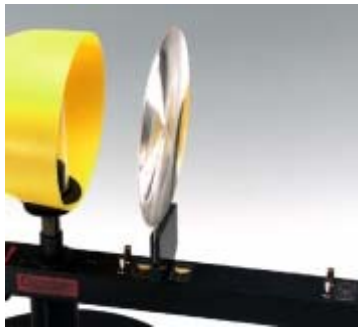
De elementen op de arm zijn:
A Zon
B Fresnel-lens in normale positie (1)
Maan positie (2) en
Zonnepunt positie (3)
C Maan
D Wereldbol met telescopische poolas
E Horizonschijf met schaduwfiguur
F De maandindicator en de datumschijf

Zon (A)
De zon is in dit model voor het gebruiksgemak in vergelijking met de 15 cm grootte wereldbol te klein weergegeven. Ook de afstand van de zon tot de aarde is extreem verkort.
De zon had zich in verhouding tot de grootte van de aarde op bijna twee kilometer afstand moeten bevinden en had de grootte van een vijf verdiepingen hoog gebouw moeten zijn.

De zon aanzetten
Om de halogeenlamp aan te zetten (alleen 12 V/20 W lage druk halogeenlamp), stop eerst de plug van het snoer in het contact onderaan de voet van het tellurium en dan de steker in een wandcontactdoos (230V/50Hz).

Halogeenlamp verwisselen
Wanneer de halogeenlamp vervangen dient te worden doet u dat met een doekje.
Tip: de halogeenlamp wordt bij het branden zeer heet. Ook als de halogeenlamp koud is, moet de lamp met een doekje worden aangepakt.

Fresnel-lens (B)
Positie 1 (Normale positie): De hoogwaardige Fresnel-lens zorgt voor een zeer fel gericht licht, net zoals het zonlicht. Vele andere telluria stralen alleen maar niet direct licht, dat betekent dat de licht-schaduwgrens op de wereldbol niet scherp is en de lichtintensiteit is zeer gering.



Positie 2: Als we de Fresnel-lens op positie 2 zetten, wordt de lichtkegel vergroot. Dan zal ook de maan worden beschenen.

Positie 3: Wordt de lens op positie 3 gezet, dan krijgen we een zonnepunt met een heldere halo op de wereldbol. Het zonnepunt bevindt zich daar waar de zon op dat bepaalde tijdstip verticaal (onder een hoek van 90°) de aarde raakt. Het zonnepunt gaat nooit voorbij de keerkringen.

Tip: Wanneer er niets anders wordt aangegeven, blijft de Fresnel-lens in positie 1. Voor het verplaatsen van de lens moet de kunststofhouder worden gepakt. De tekst om de houder moet altijd naar de zon gericht zijn.

Maan (C)
De maan is in de juiste verhouding qua grootte ten opzichte van de aarde weergegeven. De juiste afstand tot de aarde is echter veel te klein. Dat zou 4,5 meter moeten zijn. Daarom laat de maan zich, bij een niet uitgetrokken telescoopstang, bij volle maan altijd in de schaduw van de aarde zien, wat in werkelijkheid zeer zelden gebeurt (maansverduistering). Om toch volle maan te kunnen demonstreren, moet de telescoopstang tot het uiterste worden uitgetrokken, zodat de maan weer door de zon wordt verlicht. De bijna cirkelvormige baan van de maan om de aarde is hier vereenvoudigd en gericht parallel aan de hefboomarm, dat betekent dat de baan van de zon niet in beschouwing wordt genomen. Echter, wanneer men dat wil, kunnen de verschillende fasen wel gesimuleerd worden, door de telescoopstang van de maan uit te trekken of in te duwen. Deze vereenvoudiging is verdedigbaar, omdat het hier alleen maar gaat, om het principe van de maanfasen te verklaren, respectievelijk de verduisteringen te tonen.

Wereldbol (D)
De wereldbol is met diameter van 15cm zeer groot en kan vanaf grotere afstand waargenomen worden. Door de 16cm diameter grote Fresnel-lens kan de aarde goed verlicht worden. Het graadnet (de lengte- en breedtegraden) is getekend voor elke 15°. Zo komt het overeen met de tijdlijnen, -zones.
De wereldbol en de horizonschijf mogen alleen met de bijgesloten stift of een vergelijkbare afneembare (niet permanent) stift voor overheadprojectie worden beschreven.

Tip: Voor een optimale hechting van de horizonschijf moet de wereldbol vrij zijn van stof. In plaats van het bijgeleverde doekje (voor gebruik even nat maken) kunnen ook papieren tissues of iets dat daar op lijkt gebruikt worden.

Horizonschijf met schaduwfiguur (E)
De horizonschijf met schaduwfiguur is van essentieel belang voor de leerlingen. Het geproduceerde beeld stelt ze in staat om zichzelf in het figuur te verplaatsen. Tot de rode lijn is de lengte van het figuur gelijk aan de lengte van de schaduw. De horizonschijf moet zo op de wereldbol geplaatst worden dat de letter N naar de Noordpool is gericht.

Tip: De horizonschijf moet altijd bij de rand worden gepakt en licht draaiend op de wereldbol worden gedrukt. Leg de pootjes niet op een vezelrijk doek, omdat dan de hechting minder wordt. Als er problemen optreden met de hechting moet de kleefmassa in de drie pootjes van de horizonschijf met de vingernagels naar de langste einden worden gedrukt.

De maandindicator en de datumschijf (F)
Onder de wereldbol is een datumschijf aangebracht waarop men met behulp van de puntige kant van de rode maandindicator de betreffende maand kan afgelezen, die van toepassing is op de positie van de aarde met betrekking tot de zon. Zo kan je met het tellurium niets verkeerd doen. De dwarspositie van de maandindicator ten opzichte van de hefboomarm betekent dag- en nachtevening (equinox) in de lente en de herfst; parallelle positie betekent de extreme stand in de zomer of de winter. De dagen zijn in het algemeen: 21 maart, 21 juni, 23 september en 21 december. Af en toe, zoals in een schrikkeljaar, verschuiven de data met een dag.
Tip: Voor alle draaibewegingen van het tellurium moet het handvat gebruikt worden, omdat dan de zichtbaarheid en stabiliteit optimaal zijn.

Berging en transport van het tellurium
Voor het opbergen en transport kan de netwerkstekker in de buisjes van de lensopstelling positie 3 worden gestoken. Om het tellurium tegen vuil en stof te beschermen moet deze altijd opgeborgen worden met de stofzak eromheen. Het hengsel kan eenvoudig worden gebruikt bij transport van het tellurium.

Introductie

Van zijn eigen schaduw naar het schaduwfiguurtje op de wereldbol van het tellurium
De wijze waarop het licht straalt tussen de zon en de aarde en wat daarmee gebeurt kan het beste begrepen worden door de schaduw van je eigen lichaam te volgen. Er zijn nog vele leerlingen die niet weten hoe lang of hoe kort de schaduw in de verschillende seizoenen is.
Daarom moet u, voordat u met het tellurium aan de slag gaat, eerst een les over schaduw en de bijbehorende zonnestand geven.

We verbazen ons over de lengte van onze schaduw tijdens de verschillende seizoenen

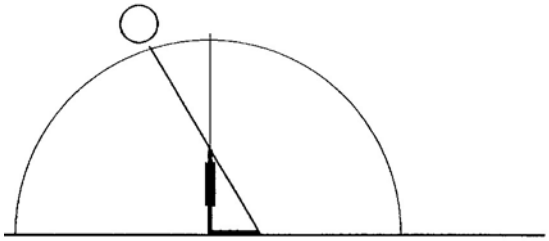
1. We stellen ons voor, dat we in de zomer midden op de dag op het schoolplein staan en onze schaduw aankijken. Wie van jullie heeft ooit gezien hoe lang de schaduw om 12 uur in de zomer is?
   - Het is korter dan we zelf zijn.
2. Hoe lang is bij ons de schaduw in de winter rond het middaguur?
   - Ongeveer 4 keer zo lang als onze eigen lengte.
3. In april en augustus heeft de schaduw 's middags bij ons een 'normale lengte'.
   - De schaduw komt ongeveer overeen met onze lichaamslengte.

Dan volgt een vraagt die dieper gaat, waarop vaak meer dan de helft van de klas het antwoord niet weet: 'Zijn er gebieden op aarde waar mensen om 12 uur 's middags helemaal geen schaduw hebben?'
Ja, rond de evenaar tot aan de keerkringen (zie les 5). De zon staat dan loodrecht (verticaal).

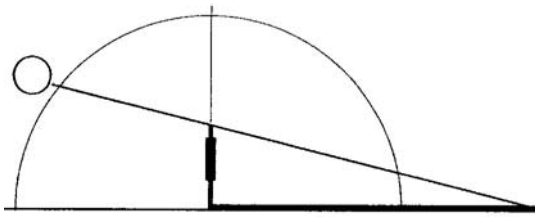
Deze foto is in de zomer op Tenerife genomen. Dit eiland ligt bijna op de noordelijke keerkring. Dit betekent dat er op Tenerife eind juni rond het middaguur nauwelijks een schaduw is.

We kunnen het resultaat van onze schaduw op de grond in de verschillende seizoenen in figuren weergeven.

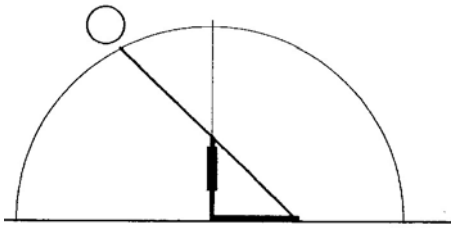
Kopieerblad



A. Schaduw 12 uur ‘s middags. Kort in de zomer (einde juni)
Schaduw = korter dan de hoogte van het figuur
(ca. 61° zonshoogte in Berlijn)



B. Schaduw 12 uur ‘s middags. Op onze breedte zeer lang in de winter (eind december).
Schaduw = ca. vier maal de hoogte van het figuur.
(ca. 14° zonshoogte)



C. Schaduw 12 uur ’s middags. Bij ons middelmatig lang (april en augustus)
Schaduw = hoogte figuur
(ca. 45° zonshoogte)

Al deze vragen kunnen we met behulp van het tellurium worden vergeleken.

Positie A – Zomer:
We draaien het tellurium met het handvat net zo lang tot de punt van de rode maandindicator op 21 juni staat. We hebben nu zomer in het noorden. We draaien Europa in de richting van de zon. We plaatsen het schaduwfiguurtje (de horizonschijf) op Nederland en draaien de wereldbol een beetje heen en weer tot de schaduw op zijn kortst is. De schaduw is duidelijk korter dan het figuurtje en beweegt zich binnen de rode kring van de horizonschijf.

Positie B – Winter:
We laten het schaduwfiguurtje op Nederland staan en draaien het tellurium met de handgreep net zo lang tot de punt van de maandindicator op 21 december staat. We hebben nu winter in het noorden. De schaduw is duidelijk langer dan het figuurtje. De benen, een derde van de totale hoogte van het figuurtje, strekken zich uit voorbij de totale schijf. De totale schaduw is ongeveer vier keer langer dan het figuurtje.

Positie C – april/augustus:
Als we de punt van de rode maandindicator op april zetten, dan is de schaduw net zo lang als het figuurtje. De zon beweegt zich tot 21 juni tot zijn hoogste stand. Na dat punt wordt de zelfde hoogste stand weer in augustus bereikt. We controleren dat, door de rode punt van de maandindicator op augustus te zetten.

Over de vraag van schaduwloosheid
We bewegen de horizonschijf met het schaduwfiguurtje heen en weer over de wereldbol totdat het figuur geen schaduw meer werpt. Er is op een zeker tijdstip altijd een bepaald punt op de aarde waar dat uitkomt. Dit punt ligt altijd tussen de keerkringen.

Het zonlicht valt slechts op een halfrond van de aarde
Met het tellurium kunnen we zien dat altijd maar een helft van de aarde wordt beschenen door de zon. Omdat de aarde draait, komen bijna alle delen van de aarde binnen 1 dag (24 uur) eenmaal op de verlichte zijde en eenmaal op de onverlichte zijde van de wereldbol. De punt van de maandindicator onder de wereldbol wordt op een van de twee equinoxen, nachtevening (rond 21 maart en 21 september) geplaatst. Beide polen hebben strijklicht. In deze positie kan bijzonder goed worden gedemonstreerd dat een hemelbol (dat geldt ook voor de maan en andere planeten) dat van verre fel wordt verlicht altijd half verlicht en half onverlicht is.

Resultaat: De zon is zeer ver van ons verwijderd. Ze beschijnt de helft van onze aarde. Op het verlichte halfrond hebben we dag en op de niet verlichte kant hebben we nacht.

- We laten die bij herhaling zien door de wereldbol op het tellurium te draaien.

1. De aarde, een gyroscoop in de ruimte

Het tellurium laat ons de bewegingen van de aarde om de zon en de maan om de aarde zien. Maan en aarde zijn in de juiste schaalgrootte gemaakt: 1:85.000.000. De aarde heeft een diameter op de evenaar van 12.756 km en wordt een bol van 15cm op het tellurium. De maan heeft een diameter van 3.482 km en wordt een bol van 4cm. De zon zou echter op een afstand van 2 km en zo groot als een vijfverdiepingen hoog huis moeten zijn. De maan zou achterin de klas moeten draaien (afstand tot de wereldbol 4,5 meter). Voor het tellurium zijn deze afstanden zeer ingekort. Plaats het tellurium op een tafel. Laat een leerling de aarde enkele malen om zijn eigen as draaien. Het begrip aardas kan worden uitgelegd als de denkbeeldige lijn die van pool tot pool door het aardmiddelpunt loopt. De pijl op de wereldbol geeft aan dat de aarde tegen de wijzers van de klok in draait.

Resultaat: de aarde is een gyroscoop, een tol, in de ruimte. Ze draait tegen de wijzers van de klok in om haar aardas.

We trekken nu de verlengde poolas zo ver mogelijk uit. We draaien de hefboomarm net zover tot de punt van de verlengde poolas naar de zon is gekeerd. De optimale positie hebben we bereikt als de rode maandindicator onder aan de wereldbol parallel aan de hefboomarm staat. Het is nu 21 juni (kijk op de schijf met de seizoenen onder de wereldbol).

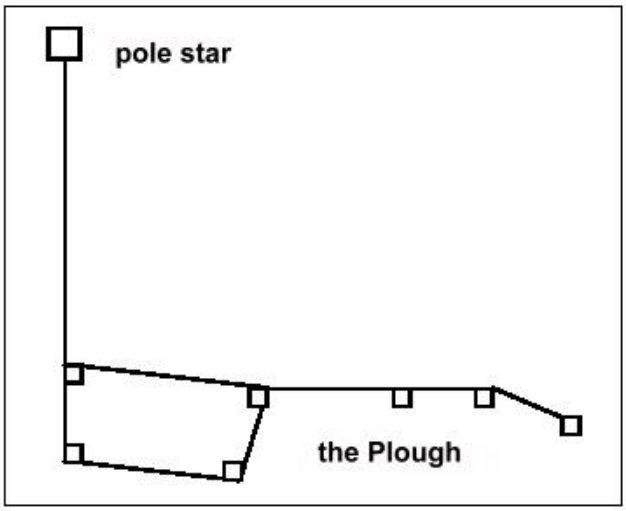
Positie van de aardas eind juni

We zien dat de aarde ten opzicht van haar baan om de zon licht is geheld, ca. 23,5° inclinatie (hellingshoek, inclinatiehoek van 23,5°) in het vlak van de ecliptica. We laten de leerlingen raden, of naar hun mening de aardas nog steeds in de zelfde richting staat, als we de hefboomarm 180° (wat correspondeert met een halfjaar) draaien.

Tip: Meestal twee groepen van gelijke omvang kiezen voor een van de beide mogelijkheden.
We draaien de hefboomarm met de wereldbol net zo lang tot hij een halve wenteling om de zon heeft gemaakt en wel tegen de wijzers van de klok in. De verlengde aardas wijst nog steeds in dezelfde richting, dat betekent de aardas behoudt haar richting. We draaien door tot de uitgangspositie weer is bereikt en stellen vast dat de richting van de aardas nog steeds klopt. De aardas wijst altijd naar het zelfde punt aan het hemelgewelf (kleine afwijkingen van de aardas in dit model worden buiten beschouwing gelaten). Hier staat toevallig een ster, die als poolster bekend is.

Positie van de aardas eind december

De poolster is de enige ster die bij de schijnbare wandeling van de sterren altijd op zijn plaats blijft, voor ons altijd in de zelfde positie aan het hemelgewelf, en dat is het noorden. Deze samenhang was de zeevaarders uit de antieke oudheid en de middeleeuwen al bekend. Als ze ’s nachts zeilden, konden ze aan de hand van de poolster, bij benadering in de juiste richting varen. De poolster vinden we aan de hemel, als we de achterkant van sterrenbeeld Grote Beer (steelpannetje) viermaal naar boven verlengen.



Samenvattend:
De aarde gedraagt zich als een gyroscoop, een tol, in de ruimte. De aardas wijst altijd in de zelfde richting. In werkelijkheid wijst de verlengde poolas naar een ster, die zich toevallig op deze positie bevindt en daarom ook de naam poolster heeft gekregen.

2. Dag en nacht

1. Dag en nachtzijde

Slechts een kant van een bol wordt verlicht als de lichtbron ver weg is. Omdat de zon op miljoenen kilometers afstand van de aarde staat, verlicht de zon steeds een zijde (een halfrond) van de aarde. We moeten de leerlingen uitleggen dat deze wetmatigheid geldt voor alle hemellichamen en bolvormige figuren, zoals de maan en de planeten. Net zoals de maan soms zeer hel verlicht is, en soms ook nauwelijks zichtbaar, geldt dat ook voor de helderheid van de planeten.

Resultaat:

- Men noemt de door de zon verlichte kant de dagzijde.
- De niet verlichte kant van de zon noemen we nachtzijde.

Dit is zichtbaar op het tellurium.

Tip: In de loop van 24 uur ervaart elk deel van de aarde een wisseling van dag en nacht, met uitzondering van de poolgebieden, waar bijzondere condities gelden.

- Van de onverlichte kant kan men de zon niet zien.

Dit wordt met behulp van het schaduwfiguurtje zichtbaar.

- Van de verlichte kant uit kan men de zon altijd zien, zolang er geen wolken voor hangen.

Dit kan met behulp van het schaduwfiguurtje gedemonstreerd worden.

2. De aarde draait om zijn eigen as (aardrotatie tegen de wijzers van de klok in)

Dag- en nachtzijde wisselen elkaar af, terwijl de aarde zich op grond van haar eigen draaiing, aardrotatie, om zich zelf draait in 24 uur.
Een leerling toont meerdere volledige draaiingen van de wereldbol (zoals de pijl aangeeft, tegen de wijzers van de klok in). Er wordt opgemerkt dat de licht-schaduwgrens altijd in een gelijke positie, terwijl het aanzicht van de aarde daaronder wegdraait.
In de overgangsgebieden tussen licht en schaduw zien we schemering. De schaduw bij zons- op en ondergang is zeer lang.
Dit wordt met behulp van het schaduwfiguurtje op het tellurium getoond.

3. Hoe zien we op de wereldbol dat het middag is?
We zetten het tellurium op zomer in het noorden (Nord-Sommer), 21 juni. De punt van de maandindicator wijst naar de zon. We markeren met een stift de meridiaan (de middaglijn), die door Berlijn loopt (15° OL).
We plaatsen het schaduwfiguurtje op Berlijn. Door de wereldbol licht rechts en links te draaien, zien we wanneer de schaduw het kortst is. Op dat punt hebben we middag.
’s Middags zien we de kortste schaduw en deze wijst op het noordelijk halfrond, buiten de keerkringen, naar het noorden.

4. Het hele jaar door gelijke lengte van dag en nacht op de evenaar (zie ook les 7).
Tip: Een mens op de evenaar legt als gevolg van de aardrotatie in 24 uur de lengte van de evenaar 40,000 km af. Dat betekent per uur 40.000 : 24 = 16.667 kilometer. Hij merkt hier echter niets van omdat de snelheid gelijkmatig is. Een persoon op de pool draait in de zelfde tijd eenmaal om zichzelf en legt praktisch geen afstand af.

Het schaduwfiguurtje wordt op de evenaar geplaatst. De rode maandindicator staat parallel aan de hefboomarm (21 juni Nord-Sommer). Een strook rode plasticine wordt langs het verlichte gebied, en een blauwe strook op het onverlichte deel geplakt. Beide stroken worden op het schoolbord geplakt. Ze zijn beide even lang (zie les 7).

Door de hoge rotatiesnelheid van de evenaar komt de zon zeer snel in het licht of in de schaduw. De overal gelijke band van schemering passeert het gebied van de evanaar in een zeer korte tijd. Daarom is de schemeringsfase op de evenaar extreem kort. Om 17.30 uur is het nog helder en de zon staat nog duidelijk aan de horizon. Om 18.30 uur is de hemel al donker.

Herhalingsvragen
Hoeveel kilometer legt de mens af gedurende de dag op de evenaar als gevolg van de aardrotatie, in het verlichte deel van de aarde en hoeveel kilometers in de nacht?

- In beide gevallen 20.000 kilometer.

Hoeveel tijd heeft hij daarvoor nodig?

- In beide gevallen 12 uur, in totaal legt hij 40.000 km in 24 uur af.

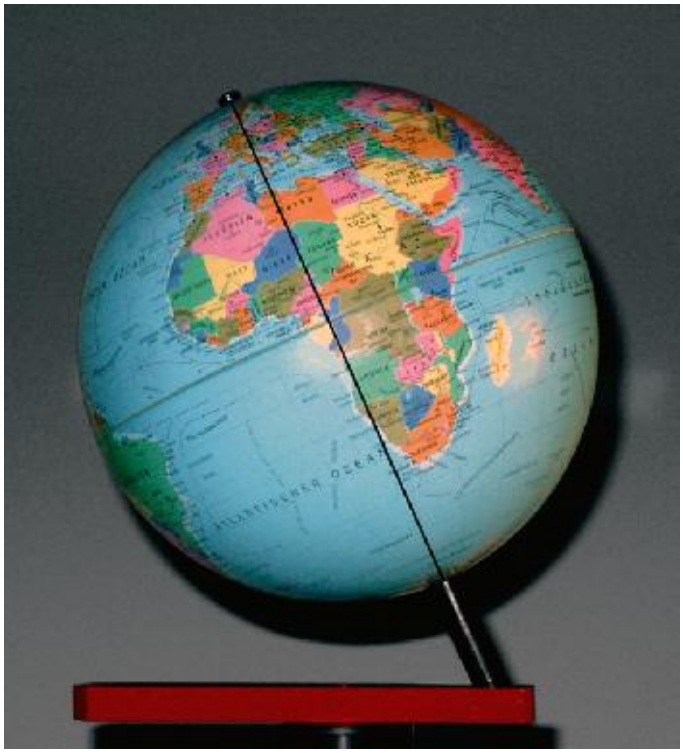
3. Middaglijn en uurindeling

1. Alle plaatsen op de middaglijn (meridiaan) hebben tegelijkertijd middag.
Het tellurium wordt geplaatst op 23 september. We trekken een lijn met de stift van de Noordpool over Berlijn verder naar het zuiden tot voorbij de evenaar naar de Zuidpool. Deze lijnt markeert 15° OL. We plaatsen het schaduwfiguurtje op deze lijn, boven op de evenaar. Door de wereldbol licht heen en weer te draaien vinden we het punt waarop het figuurtje geen schaduw meer heeft. Hier is het nu middag. De zon staat loodrecht op de aarde.

- Ze staat op de evenaar op 15° OL iets ten oosten van Libreville de hoofdstad van Gabon.

We houden de wereldbol precies in deze positie (het beste is dat een leerling de wereldbol vasthoudt, en een tweede leerling verplaatst het schaduwfiguurtje naar het noorden op Berlijn). We letten er wel op dat de noordrichting op het schijfje naar de Noordpool wijst. De schaduw wijst nu precies naar het noorden. Dus staat de zon in het zuiden. Zo hebben we in Berlin middag. De schaduw komt een beetje over de rode lijn van het horizonschijfje heen, en is wat langer dan het figuurtje.
Plaatsen we het figuurtje naar het zuiden, op Rome, dan wordt de schaduw duidelijk korter.
Ter controle gaan we nog eenmaal naar de evenaar naar Libreville.
De volgende plaats, die we opzoeken, is Walvisbaai, een stad in Namibië. Deze stad ligt ten zuiden van de keerkring.

Tip: Alle plaatsen op de middaglijn (meridiaan) hebben op het zelfde moment middag, zoals de naam al aangeeft. Bij vliegreizen kunnen we duizenden kilometers naar Zuid-Afrika vliegen, maar we hoeven ons horloge niet bij te stellen, als we op de meridiaan blijven. (Kleine verschillen zijn mogelijk, bijvoorbeeld als in de zomer geen zomertijd wordt ingesteld).



2. Op het zuidelijk halfrond schijnt de zon vanaf het noorden (in de tropen echter alleen maar tijdelijk)
Laten we de schaduw van Walvisbaai eens nader beschouwen. De schaduw is duidelijk korter dan de schaduw in Berlijn, omdat de plaats dichter bij de evenaar ligt. De schaduw in Walvisbaai in zuidelijk Afrika richt zich naar het zuiden. De zon schijnt hier tijdens de zomer in het noorden (Nord-Sommer) uit noordelijke richting. Nog verder zuidelijk schijnt de zon zelfs het hele jaar vanuit het noorden, bijvoorbeeld in Johannesburg of Kaapstad. Het kardinale punt tijdens zonsopgang en zonsondergang is dat net zoals bij ons op het noordelijk halfrond, dat dat het oosten en westen is, want de aarde draait maar in een richting.

3. Het uur als een 24ste deel van een dag

Het tellurium blijft staan op 23 september (equinox, dag- en nachtevening). De rode maandindicator staat haaks op de hefboomarm. De afstand tussen twee meridianen noemt men lengtegraad. De lengtegraden worden twee keer tot 180° geteld (ooster- en westerlengte vanaf de 0-meridiaan in Greenwich bij Londen), dus samen 360° voor een volledige cirkel. Omdat de aarde in 24 uur een keer om zijn eigen as draait, correspondeert 360 graden met 24 uur.

Anders geformuleerd: Een uur is het 24ste deel van een volledige aardrotatie.

- Een volledige aardrotatie wordt op het tellurium getoond.

Een halve dag telt 180 lengtegraden net zoals de nachthelft. Dit correspondeert met het gradenstelsel op de wereldbol. Als een halve dag 12 uur is, betekent dat 180 : 12 = 15 lengtegraden = 1 uur.
De aarde legt door haar eigen aardrotatie ten opzicht van de zon per uur een afstand van 15 graden af. Dit is op de evenaar zeer breed, namelijk 1.667 km en wordt op hogere breedte steeds smaller.

4. De verdeling van de uren over de aarde

We trekken een zwarte lijn over de nulmeridiaan van de Noordpool over Londen tot aan de evenaar. We plaatsen het figuurtje op de evenaar en draaien de wereldbol een beetje heen en weer tot het figuur geen schaduw meer heeft.

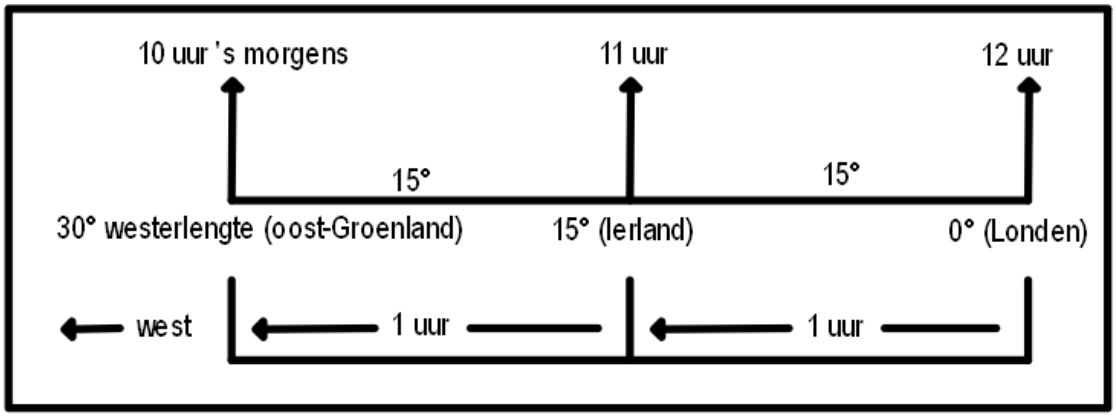
- Nu is het op de gehele nulmeridiaan middag.

Een leerling schrijft ‘12’ uur naast Londen. We overleggen nu hoe laat het Berlijn is. Omdat de aarde in tegen de wijzers van de klok in draait betekent dat Berlijn al middag gehad moet hebben. Berlijn ligt ongeveer 15 oostelijk van Londen, dat betekent een uur later. In Berlijn is het nu 13.00 uur. We schrijven ‘13’ op de 15 graden meridiaan bij Berlijn. We gaan nu uur voor uur verder naar het oosten (14, 15, 16 enz.). In Bangladesh is het al 18.00 uur, in Japan 21.00 uur en op 180 graden meridiaan, de datumgrens, hebben we 24.00 uur.

Evenzo ervaren we op het westelijk halfrond. In Ierland op 15 graden westerlengte is het 11.00 uur, op oostelijk Groenland 10.00 uur, in New York 7.00 uur, in Californië ’s ochtends vroeg 4.00 uur en op de datumgrens (180 graden westerlengte) 0.00 uur.

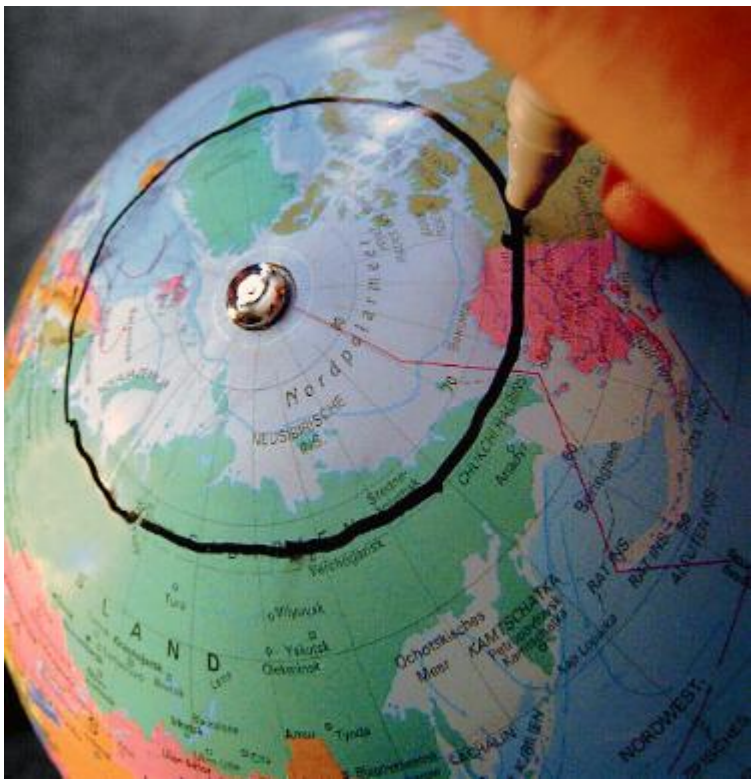
5 De datumgrens

Tip: Op de 180-meridiaan komen twee dagen bij elkaar. Er is hier een datumverschil van een dag, dat zich bij het passeren van de grens duidelijk wordt. Van oost naar west wordt een kalenderdag overgeslagen, van west naar oost wordt een kalenderdag twee keer geteld.



4. Pooldag en Poolnacht

Het tellurium wordt op de noordelijke zomer (Nord-Sommer) gezet: de rode punt van de maandindicator wordt op 21 juni gezet.
De Noordpool helt naar de zon. Daarmee krijgt in de positie het noordelijk halfrond meer zonlicht dan het zuidelijk halfrond. Het verlichte gedeelte van het noordelijk halfrond reikt zelf tot voorbij de Noordpool.
We draaien de aarde 24 uur, ofwel een volledige rotatie, en kijken naar de licht-schaduwlijn op de Noordpool als ook de Noordpool zelf. De Noordpool liegt gedurende de hele rotatie in het licht. De zon gaat niet onder, hoe vaak we ook draaien.
Een leerling houdt de bijgeleverde afwasbare stift loodrecht op de licht-schaduwlijn, een andere leerling laat daaronder de wereldbol draaien. Zo ontstaat een ringvormige lijn. Dit is de poolcirkel. Binnen de poolcirkel zijn er dagen in het jaar dat de zon niet opkomt of niet ondergaat. Op de pool is deze tijd een half jaar, om de poolcirkel geldt dat maar voor een nacht.



Tijdens de zomer op het noordelijk halfrond (Nord-Sommer) gaat aan de pool de zon een half jaar niet onder. Deze tijd begint een kwartjaar voor 21 juni en eindigt een kwartjaar daarna, dus van dag- en nachtevening in maart en september. Zo lang schijnt op de pool de **midzomernachtzon**.
Op het zuidelijk halfrond, waar het dan winter is, komt de zon op de pool een half jaar lang niet op, we hebben hier dan over de **poolnacht**. We draaien het tellurium 180 graden, dus een halve cirkel, en volgen daarbij de richting van de polen met uitgetrokken poolstang. De poolstang wijst nog steeds in de zelfde positie in de ruimte. Nu is de Noordpool van de zon afgewend en de Zuidpool is naar de zon gericht.
Daarom heb we nu Poolnacht op het noordelijk halfrond. We draaien de wereldbol meerdere keren om zich zelf en zien dat het zonlicht het noordpoolgebied niet bereikt. Het noordpoolgebied wordt ook wel **Arctica** en het zuidpoolgebied **Antarctica** genoemd. Op Antarctica hebben we nu de midzomernachtzon.

5. De keerkringen en de tropen

Voor deze les moet de Fresnel-lens in positie 3 'Zonnepunt' worden gestoken.

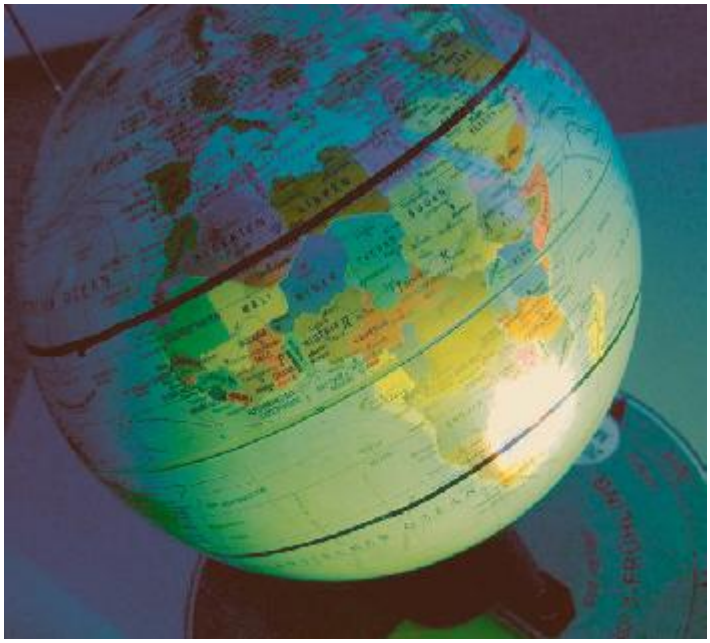
We draaien de hefboomarm net zo lang tot de maandindicator op 21 juni staat (Nord-Sommer). We plaatsen de horizonschijf met het schaduwfiguurtje precies op het zonnepunt en zien dat het figuur geen schaduw heeft.

- Het zonnepunt toont ons op eenvoudige wijze altijd de positie waar de zon loodrecht op de aarde staat.

We leggen de horizonschijf weg en zetten een stift op het zonnepunt. Een tweede leerling draait daarbij de aarde zo lang onder het zonpunt door, tot weer een gesloten ring is ontstaan. We draaien nu de hefboomarm 180 graden. Onder de punt van de maandindicator verschijnt 21 december. We plaatsten weer de stift op het zonnepunt en draaien de aarde rond zodat we een tweede kring met de zelfde afstand tot de evenaar krijgen.
De beide kringen noemt men de keerkringen, terwijl de zon niet meer verder richting de pool kan gaan, na zijn hoogste punt, gaat deze weer richting de evenaar.

- De noordelijke keerkring heet Kreeftskeerkring en de zuidelijke keerkring heet Steenbokskeerkring zo genoemd naar de gelijknamige sterrenbeelden van de dierenriem.

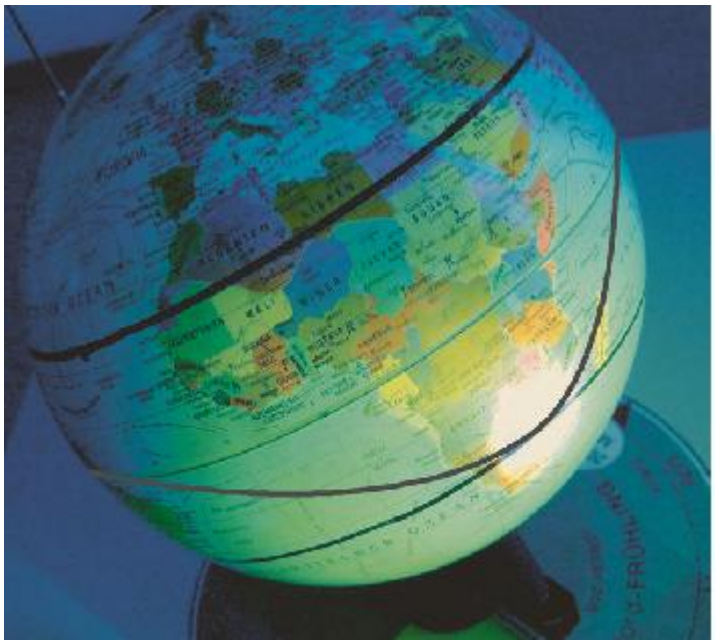
Het gebied tussen de keerkringen wordt wel de **tropen** genoemd.



- In de tropen schijnt de zon (afgezien van de keerkringen) in verloop van het jaar niet uit een richting, maar ze wisselt van richting. Op de evenaar schijnt de zon een half jaar vanaf het noorden (tussen 21 maart en 23 september) en een half jaar lang vanuit het zuiden. De zon gaat altijd in het oosten op en in het westen onder (zie ook les 3.2).

We draaien nu de hefboomarm 180 graden dat betekent dat we het tellurium op 21 juni zetten.
We draaien de wereldbol, tot de nulmeridiaan op het zonnepunt is gepositioneerd. Deze positie markeren we met de stift met een kruis. We draaien het tellurium een maand door tot eind juli. Hier stoppen we en plaatsen in het nieuwe zonnepunt een nieuw kruis. Dit herhalen we voor alle andere maanden tot eind mei. We verbinden alle punten met elkaar en krijgen een gebogen lijn, die tussen de keerkringen rond de evenaar slingert.

We herhalen deze procedure nog een keer nadat we met het tellurium een volle draai van een jaar hebben uitgevoerd en kijken goed naar de schijnbare omkering van de zon bij de keerkringen.

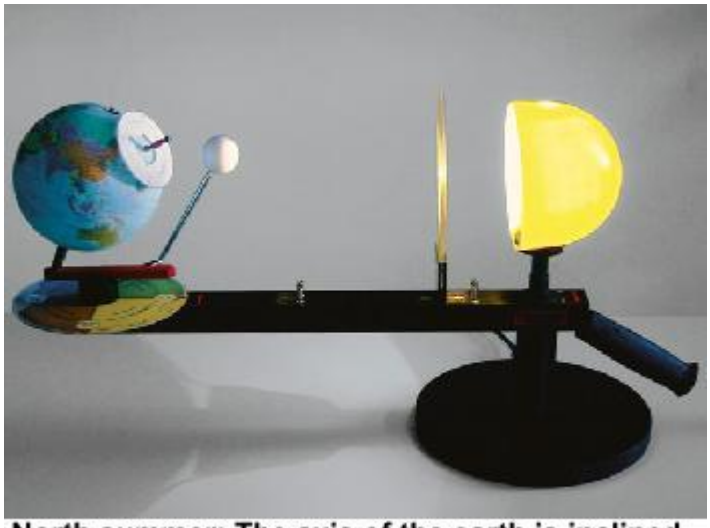


Resultaat: De zon kan alleen in het gebied tussen de keerkringen loodrecht staan en niet voorbij de keerkringen.

6. De seizoenen

1. Zomer op het noordelijk halfrond (Nord-Sommer / Süd-Winter)

We beginnen met de zomer op het noordelijk halfrond, dat betekent dat de maandindicator parallel aan de hefboomarm staat, we hebben een van de beide extreme seizoenen. De rode punt van de datum-/maandindicator staat op 21 juni (zomerzonnewende, solstitium). Het noordelijk halfrond is gericht naar de zon (in een hoek van 23,5° - de helling van de ecliptica) wat zeer goed te zien is als de verlengde poolas is uitgetrokken.
We verschuiven het schaduwfiguurtje net zolang tot er geen schaduw meer is. Nu is het middag en we bevinden ons op de noordelijke keerkring.



North summer: The axis of the earth is inclined towards the sun.

Resultaat: op 21 juni (met de zomer op het noordelijk halfrond) staat de zon loodrecht boven de Steenbokskeerkring. Het noordelijk halfrond wordt helemaal door zonlicht verlicht.

2. Herfst op het noordelijk halfrond (Süd-Frühling)

We draaien het tellurium een kwartslag tegen de wijzers van de klok in. Het is nu 23 september. Door schrikkeljaren kan de datum af en toe met een dag verschillen.

- We plaatsen het schaduwfiguurtje zo, dat het geen schaduw heeft. Hij staat op de evenaar.

Het noordelijk en zuidelijk halfrond worden op de zelfde manier verlicht door de zon. Noordpool en Zuidpool liggen even ver van de zon vandaan, dat betekent dat de hellingshoek van de aardas (inclinatie) nu haaks op de zon staat.
Beide polen zijn even ver van de zon. Het zonlicht schampt strijkt beide polen. Overal op de wereld is er nu dag- en nachtevening (equinox). Dat wil zeggen er is 12 uur dag en 12 uur nacht.
Het is op het noordelijk halfrond herfst en lente op het zuidelijk halfrond.

Resultaat: op 23 september staat de zon boven de evenaar. Er is dag- en nachtevening (equinox). Overal is het 12 uur dag en 12 uur nacht.

3. Winter op het noordelijk halfrond (zomer op het zuidelijk halfrond)

Na nog een kwart het tellurium te draaien komen we aan op 21 december (winterzonnewende, Solstitium) en daarmee op het tweede extreme seizoen, de winter op het noordelijk halfrond. De zon staat nu loodrecht boven de Steenbokskeerkring, die we met behulp van het schaduwfiguurtje kunnen herkennen.

North winter. At noon the sun is vertical above the Tropic of Capricorn

Resultaat: op 21 december staat de zon loodrecht boven de Steenbokskeerkring. Het zuidelijk halfrond is helemaal verlicht door de zon.

4. Lente op het noordelijk halfrond (herfst op het zuidelijk halfrond)
Na het tellurium nog eens een kwart gedraaid te hebben, komen we in de lente op het noordelijk halfrond. De punt van de maandindicator staat op 21 maart. Weer – net zoals bij de herfst – worden beide polen door het zonlicht gestreken. We hebben nu de tweede dag- en nachtevening van het jaar.
We plaatsen het schaduwfiguurtje weer op die plaats waar het geen schaduw heeft. Hij staat weer op de evenaar, dat betekent op de evenaar staat de zon elk half jaar loodrecht. Ook in de overige plekken tussen de twee keerkringen staat de zon tweemaal per jaar loodrecht, maar niet in de gelijke intervallen.

Resultaat: op 21 maart (lente op het noordelijk halfrond) staat de zon boven de evenaar. Er is dag- en nachtevening (equinox). Overal op aarde is er 12 uur dag en 12 uur nacht.

Via het tellurium weten we dat het noordelijk halfrond door de inclinatie van de aardas op 21 juni meer zonlicht krijgt dan het zuidelijk halfrond. We draaien de hefboomarm 180 graden, naar 21 december. Beide halfronden worden in de loop van een jaar gelijkmatig van zonlicht voorzien. Daardoor worden hitte en koude op de aarde eerlijk verdeeld, beter dan wanneer de aardas loodrecht zou zijn.
Door een toeval van de natuur is de aardas 23,5 graad geheld ten opzichte van de loodrechte baan van de aarde om de zon. Daardoor is er een relatief uitgebreide ruimte aan prettige warmte in het bestaan van de mensen, dieren en planten.

Resultaat: Door de inclinatie, de helling van de aardas, verschaft de natuur meer levensruimte voor mensen, planten en dieren.

7. Dag- en nachtlengte op verschillende breedtegraden

De uitgangspositie van het tellurium om de daglengte goed te kunnen zien is de zomer op het noordelijk halfrond. De punt van de rode maandindicator wijst naar 21 juni. We kneden drie blauwe en rode rolletjes van plasticine van ongeveer een halve tot een centimeter dik met een lengte van 30 cm. De leerlingen plakken de plasticine rolletjes op de licht- en schaduwgrens langs de breedtegraden.

We letten er goed op dat de totale plasticinerol over de betreffende breedtegraad ligt.

Langs de breedtegraad aan de verlichte kant, de dagzijde, wordt de rode plasticine geplakt. Langs de breedtegraad aan de onverlichte kant, de nachtzijde wordt de blauwe plasticine geplakt. De leerlingen breken de plasticine af waar de twee kleuren bij elkaar komen. Het zelfde wordt voor elk volgende kwartjaar herhaald, dat betekent dat de rode punt van de maandindicator onder de wereldbol eerst op 23 september, dan op 21 december en uiteindelijk op 21 maart staat.
Op het schoolbord staat geschreven:

Tijdens de zomer op het noordelijk halfrond (21 juni)

	Dag (rood)	Nacht (blauw)	Daglengte/ nachtlengte
Evenaar			Beide zijn even lang (12 uur)
Midden-Europa			Langer / korter
Arctica (bij 80°)			24 uur / geen nacht

Tijdens de herfst op het noordelijk halfrond (23 september)

	Dag (rood)	Nacht (blauw)	Daglengte/ nachtlengte
Evenaar			Beide zijn even lang (12 uur)
Midden-Europa			Beide zijn even lang (12 uur)
Arctica (bij 80°)			Beide zijn even lang (12 uur)

Tijdens de winter op het noordelijk halfrond (21 december)

	Dag (rood)	Nacht (blauw)	Daglengte/ nachtlengte
Evenaar			Beide zijn even lang (12 uur)
Midden-Europa			Korter / langer
Arctica (bij 80°)			Geen dag / 24 uur

Tijdens de lente op het noordelijk halfrond (21 maart)

	Dag (rood)	Nacht (blauw)	Daglengte/ nachtlengte
Evenaar			Beide zijn even lang (12 uur)
Midden-Europa			Beide zijn even lang (12 uur)
Arctica (bij 80°)			Beide zijn even lang (12 uur)

Aansluitend plakken de leerlingen de plasticine op het schoolbord. Later kan de docent met een gekleurd krijtje of op het digitale whiteboard de plasticine vervangen. De andere leerlingen kunnen de resultaten van het experiment in hun schrift schrijven, terwijl voor in de klas nog op het bord wordt geplakt.

Resultaat: Op de evenaar zijn dag en nacht het hele jaar door even lang (zie ook les 2.4). Op de middelbare breedtegraden zijn de dag- en nachtlengte in zomer en winter enorm verschillend. Op de pool vindt dan helemaal geen verandering van dag en nacht plaats.
Ten tijde van dag- en nachtevening in september en maart hebben we overal op aarde 12 uren dag en 12 uren nacht.

Het werkblad ‘Dag- en nachtlengte op verschillende breedtegraden’ vindt u op de volgende pagina.

Werkblad Dag- en nachtlengte op verschillende breedtegraden

Tijdens de zomer op het noordelijk halfrond (21 juni)

	Dag (rood)	Nacht (blauw)	Daglengte/ nachtlengte
Evenaar			
Midden-Europa			
Arctica (bij 80°)			

Tijdens de herfst op het noordelijk halfrond (23 september)

	Dag (rood)	Nacht (blauw)	Daglengte/ nachtlengte
Evenaar			
Midden-Europa			
Arctica (bij 80°)			

Tijdens de winter op het noordelijk halfrond (21 december)

	Dag (rood)	Nacht (blauw)	Daglengte/ nachtlengte
Evenaar			
Midden-Europa			
Arctica (bij 80°)			

Tijdens de lente op het noordelijk halfrond (21 maart)

	Dag (rood)	Nacht (blauw)	Daglengte/ nachtlengte
Evenaar			
Midden-Europa			
Arctica (bij 80°)			

8. De tijden van de dag

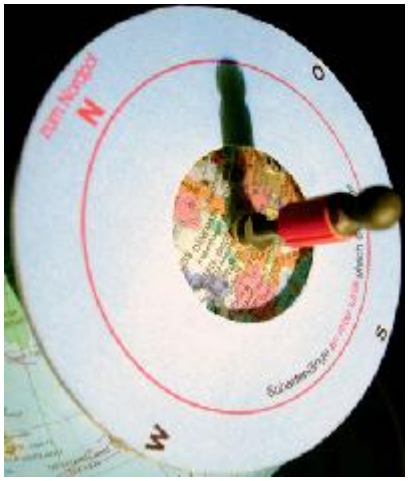
We zetten het tellurium op 21 maart, lente op het noordelijk halfrond.

1. Middenbreedtegraden

We draaien de wereldbol zo dat Europa naar de zon kijkt. We kiezen de 15° meridiaan en zetten het schaduwfiguurtje op Berlijn. We draaien de wereldbol aan de westelijke licht-schaduwgrens helemaal naar links. (tegen de pijlrichting in)

We zorgen ervoor dat de noordzijde van de horizonschijf naar de Noordpool wijst.

De vervolgens zeer lange schaduw valt in dit seizoen precies naar het westen. We draaien de wereldbol tegen de wijzers van de klok in naar de zon. De schaduw schuift geleidelijk naar het noorden. Daarbij wordt de schaduw korter, tot 's middags de kop van het figuurtje weer op de rand van de horizonschijf verschijnt. In dit seizoen is de schaduw dus iets langer dan het figuur, om precies te zijn het gaat iets voorbij de verhouding 1:1.
's Middags valt de schaduw op onze breedtegraad naar het noorden in de richting van de geografische Noordpool, terwijl de zon vanuit het zuiden schijnt.
Draaien we verder richting de namiddag zien we dat de schaduw wisselt van noordoost naar oost. En tevens wordt de schaduw steeds langer.



Degene die hier heel precies in wil zijn, kan de uren tellen, welke Berlijn 's middags van het middagtijdstip is verwijderd. Men plaatst daarbij, zonder de wereldbol te draaien, het schaduwfiguurtje op de evenaar, waar hij geen schaduw heeft. De meridiaan op die positie heeft middag. Door het aantal meridiaanlijnen te tellen (elke 15°, zie les 3.3) tot aan Berlijn, ontdekken we het verschil in uren die moeten worden toegevoegd ten opzicht van middag om de middagtijd te krijgen. Je schuift 3 à 4 tijdzones naar het oosten op, met andere woorden het is 15.00 tot 16.00 uur.

2. Keerkring

We doen hetzelfde met de Steenbokskeerkring en zetten de horizonschijf met schaduwfiguurtje op de Steenbokskeerkring. We zien dat de schaduw half zo lang is als het figuurtje, een teken dat de zon hier duidelijk hoger aan de hemel staat (een rechtere hoek met de aarde maakt).

3. Evenaar

We zetten de horizonschijf op de westelijke licht-schaduwgrens, dus helemaal naar links op de evenaar.

We zorgen ervoor dat de noordzijde van de horizonschijf naar de Noordpool wijst.

We draaien nu het schaduwfiguurtje op de wereldbol langzaam richting de zon. De schaduw wijst naar het westen, de zon schijnt vanuit het oosten.

We merken op dat de schaduw steeds korter wordt, maar steeds de zelfde richting naar het westen heeft tot het middaguur dan is de schaduw volledig verdwenen. De zon staat nu loodrecht boven de evenaar (in zenit). Wanneer we verder draaien ontstaat er een schaduw in oostelijke richting. De schaduw wordt langer en valt helemaal naar het oosten.

We zien dus, dat de zon schijnbaar in een rechte lijn langs de hemel loopt. Ze gaat ’s morgens in het oosten op, stijgt loodrecht naar de hemel en vervolgt haar baan in de namiddag en gaat tenslotte heel precies met een lange schaduw in het westen onder. ’s Morgens bedraagt de hoek tegenover de noordrichting (azimut) 90° om dan richting de middag naar 270° te springen. Dat is een sprong van 180°. De baan blijft in een rechte lijn.
We kunnen deze oefening alle andere seizoen herhalen en er komen telkens andere schaduwlengte en –richtingen. Plaatsen we bijvoorbeeld het tellurium in de stand, zomer op het zuidelijk halfrond, ofwel 21 december, en zetten we het schaduwfiguurtje op Kaapstad, dan zien we, dat de zon een kleine boog naar het noorden maakt, dat betekent dat de slechts korte schaduw ’s middags naar het zuiden valt (zie ook les 3.2).

9. De maanfasen

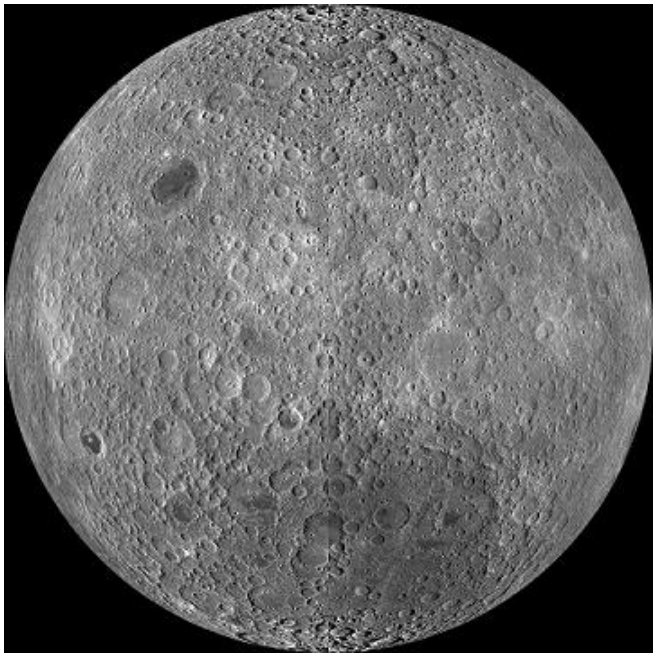
Voor deze les moet de Fresnel-lens in positie 2 worden geplaatst.

1. De maan toont ons altijd maar een kant

Afgezien van lichte schommelingen aan de randen laat de maan ons altijd maar van een kant zien. We kunnen dat heel goed op het tellurium zien. Vanwege technische redenen wordt de maan niet in de juiste baan om de aarde gevoerd. Dit kan echter door het in en uitschuiven van de telescoopstang wel worden gesimuleerd.
We draaien de maan recht tegenover de zon en trekken de telescooparm een beetje uit, zodat het zonlicht vol op de maan schijnt. Met de stift zetten we een kruis in het midden van de verlichte kant. We drukken de telescooparm weer naar binnen en laten de maan langzaam een volledige draai om de aarde maken (tegen de wijzers van de klok in). We zien dat het kruis altijd van de aarde is afgewend, of de aarde nu verlicht is of niet.

Resultaat: De maan toont ons altijd dezelfde kant.

Tip: De rotatie van de maan (om haar as) is synchroon met haar beweging rond de aarde. Praktisch betekent dit dat de Maan steeds met dezelfde kant naar de aarde gericht is. Daarom spreekt men van de voorkant, het vanaf de aarde zichtbare deel van het maanoppervlak, en de achterkant, het onzichtbare deel van de maan. Pas in 1959 werd door de Russen de eerste opname van de achterkant van de maan gemaakt met de Loena 3. Daarom zijn er op de achterkant van de maan namen als de krater van Lomonosov (Russisch astronoom van 1711-1765), de krater van Tsiolkovski (1857-1935, de vader van de raketwetenschap) en de Moskowzee te vinden.



Linksboven is de donkere Mare Moscoviense (Moskouzee) te zien met een diameter van 277 kilometer. De donkere krater linksonder is Tsiolkovski en heeft een diameter van 185 kilometer.

2. De maanfasen

De leerlingen beschrijven hoe we vanaf de aarde de maan zien. Daarom moeten we het schaduwfiguurtje zo op de aarde plakken dat hij recht tegenover de maan staat.

a) We beginnen met **nieuwe maan**.
De maan staat tussen de aarde en de zon. We kunnen de maan niet zien omdat het zijn schaduwzijde laat zien.

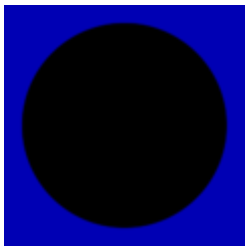
b) Bijna een week later hebben we **wassende maan**. We draaien de maan een kwartslag met behulp van het steunstokje aan de maan (tegen de wijzers van de klok in).
Gezien vanaf de aarde is de maan een halve schijf. Dit noemen we het eerste kwartier en we hebben een halve man.

c) Dan volgt de **volle maan**.
Na het eerste kwartier op weg naar de volle maan spreken we van toenemende volle maan. Om de volle maan te kunnen zien moeten we het telescooparmpje aan het steunstokje uittrekken totdat de maan boven de aarde uitkomt vanuit de zon gezien, anders is er maansverduistering. De maan is van de aarde uitgezien als een volledige ronde schijf te zien, het tweede kwartier.

d) Een week later komen we via de **afnemende maan** in het laatste kwartier. De verlichte kant heeft de vorm van de letter ‘a’, daaraan kunnen we eenvoudig zien welke halve maanfase we hebben.

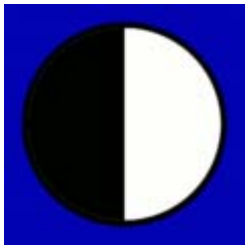
In het verleden was de maan een belangrijke indicator voor de maand, omdat hij gemakkelijk zichtbaar is voor alle mensen. De volle maan diende als avondverlichting en dat is de reden dat er vele feesten gekoppeld zijn aan volle maan. Talrijke religies ook hedendaagse kennen feestdagen die de maanfasen volgen, in het bijzonder de islam. Zo verloopt de Ramadan, de vastenmaand, in loop van de tijd door het hele jaar heen, omdat het niet gekoppeld is aan de zonnekalender.
Onze planeten worden vanuit ons gezichtspunt gezien ook op verschillende tijden afwisselend vol door de zon verlicht en dan verandert de helderheid.

Hieronder alle schijngestalten van de maan vanaf het noordelijk halfrond op aarde. De maan vertoont schijngestalten omdat slechts een gedeelte van het van de aarde af zichtbare maanoppervlak door de zon wordt verlicht.

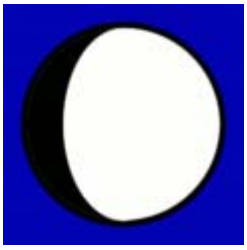


Nieuwe maan

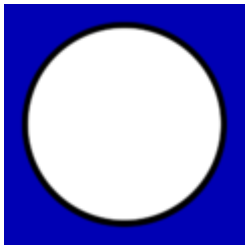
wassende maan



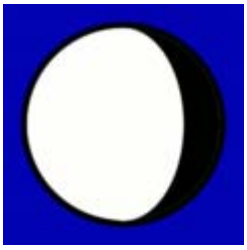
Eerste kwartier



toenemende maan



Volle maan



afnemende maan

Laatste kwartier

afnemende maan

Op het zuidelijk halfrond zie je maan "ondersteboven", de Noordpool staat aan de onderkant. De kant van de maan die verlicht is, is natuurlijk wel de zelfde kant. Tussen juli 1969 en december 1972 heeft de NASA in het kader van Project Apollo zeven bemande vluchten uitgevoerd met als doel mensen op de maan te brengen. Zes van deze vluchten waren succesvol en brachten ieder twee mensen op de maan. De derde vlucht, van Apollo 13, werd door een ongeluk voortijdig afgebroken. De eerste vlucht die mensen op de maan zette, was de Apollo 11 met als bemanning Neil Armstrong, Buzz Aldrin en Michael Collins. Nadat ‘the Eagle has landed’, zette Armstrong op 21 juli 1969 voet op de maan(bodem) en sprak de legendarische woorden: *‘That's one small step for a man, one giant leap for mankind.’*

Tip: De maan draait in 27,3 dagen om de aarde, maar er verlopen 29,53 dagen tussen twee volle manen, omdat de aarde ook draait. Een cyclus van 29,53 dagen is een maanmaand.

10. De verduisteringen

Voor deze les moet u de Fresnel-lens in positie 2 zetten.

1. Maansverduistering

Als de zon, aarde en maan in deze volgorde precies op een lijn staan, bedekt de schaduw van de aarde de maan. In plaats van volle maan hebben we een maansverduistering. Bij een maansverduistering wordt de maan nog zwak verlicht door de lichtstralen die worden afgebogen door de dampkring.

Tip: Het telescooparmpje aan het steunstokje blijft in de beginstand. Op basis van de zeer geringe afstand tussen de aarde en de maan op het tellurium, ontwikkelt zich door een fout elke maand in plaats van een volle maan een maansverduistering. In werkelijkheid de afstand is veel groter (het moet hier ongeveer 4,5 meter zijn) en vanwege het feit dat de maan een scheve baan om de aarde beschrijft, komen maansverduisteringen in de natuur maar zeer zelden voor.

2. Zonsverduistering

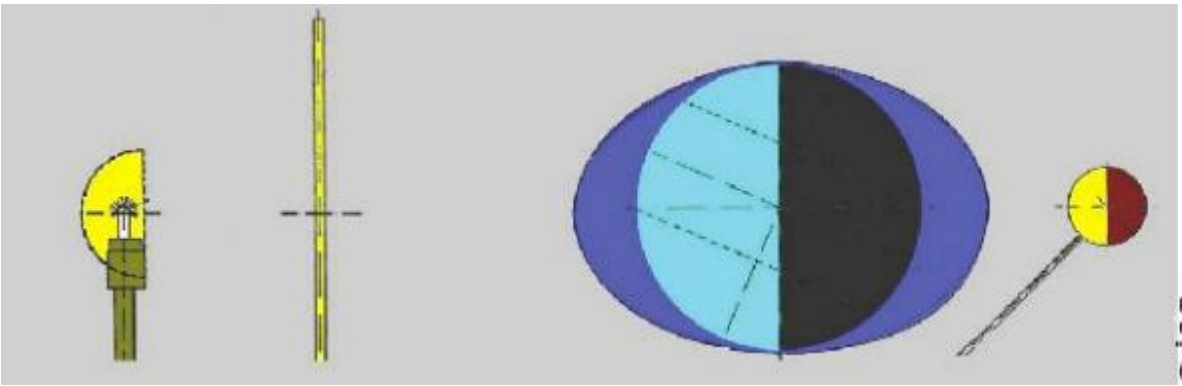
We plaatsen de maan precies tussen de aarde en de zon. De schaduw van de maan valt op de aarde en maakt een deel van de aarde donker. We hebben een zonsverduistering, want in het schaduwbereik kan men de zon niet zien.
We plaatsen de horizonschijf met het schaduwfiguurtje tussen de aarde en de maan. U en uw omgeving blijven onverlicht. Er heerst enkele minuten een nachtelijke toestand op klaarlichte dag (wereldbol draaien). In vroegere tijden was dit ongewone verschijnsel een voorbode van groot, meestal negatieve serie van gebeurtenissen. Ook deze toestand komt in de natuur maar zelden voor.

11. De getijden

Wanneer de zon, de maan en de aarde in een rij staan, dan geeft dat op grond van de optelling van de getijdenkrachten een bijzonder hoog dagelijks hoogwater in de oceanen en zeeën.
We noemen deze gebeurtenis springtij. Hoewel zo'n serie van maan, aarde en zon optreedt bij volle maan en ook bij nieuwe maan is er ongeveer elke 14 dagen een springtij of een springvloed (zie de afbeelding). We kunnen deze verschijning als volgt laten zien:

1. We plaatsen de maan in de volle maan positie. Hij staat dan op een lijn met de aarde en de zon.
2. We trekken een lijn met de afwasbare stift van pool tot pool over Greenwich bij Londen langs de nulmeridiaan en verlengen deze op de tegenovergestelde zijde tot een volle kring (180°-meridiaan). We doen het zelfde op de 90° oostelijke en westelijke meridiaan en hebben zo de aarde in vier gelijke delen gedeeld.
3. We draaien de 0°-meridiaan naar de zon.
4. We leggen een brede strook papier, touw of koord om de pool, dat twee vingerbreedtes langer is dan de wereldbol en laten het door twee leerlingen stevig spannen, dat betekent naar de zon respectievelijk van de zon wegtrekken. Op de 0°-meridiaan en op de 180°-meridiaan hebben we nu vloed (springvloed).

Een derde leerling draait nu de aarde onder de band, touw of koord door. Na een kwartdraai, dus na 6 uur is de vloedberg bij Amerika en Azië. Na nog een kwartdraai, dus na twee keer 6 uur = 12 uur, hebben we weer vloed langs de uitgangslijnen.
De aarde draait dus in 24 uur twee keer onder de hoogwater-'bergen', respectievelijk de laagwater-'dalen' door.



Photos: Spring tide with much exaggerated wave "mountains". (Crests of waves)

Daarom zijn er op de oceanen twee keer per dag de hoogste getijdenniveaus (dagelijks hoogtij) en de laagwater niveaus (dagelijks laagtij).

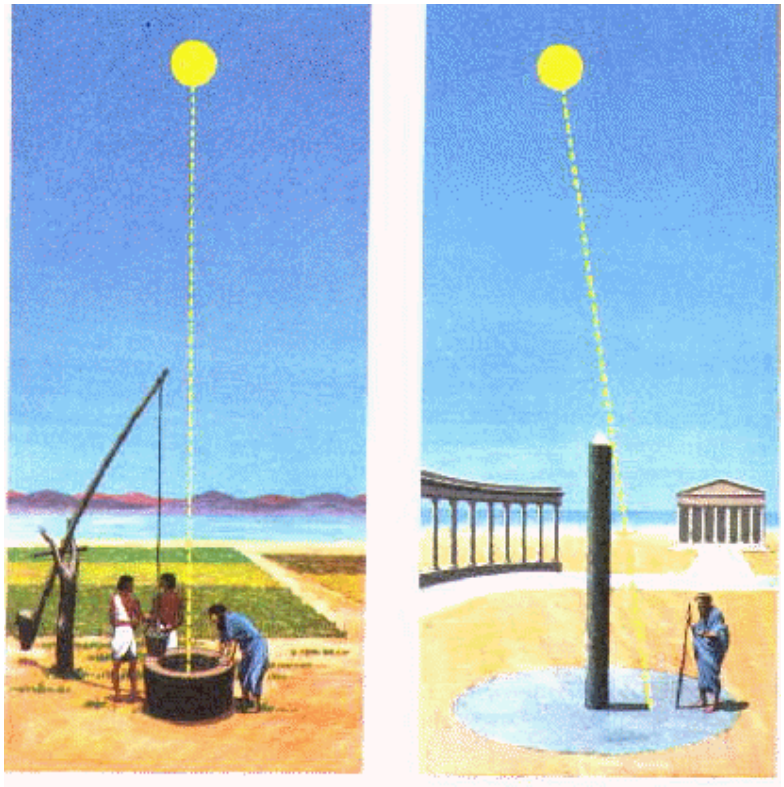
Tip: Meer nauwkeurig bezien zijn de oorzaken veel complexer, dat wil zeggen het gaat niet alleen om de gravitatie respectievelijk om de aantrekkingskracht, maar ook om de centrifugale krachten (middelpuntvliedende krachten). In dit proces vormen de aarde en de maan een graviteitsysteem, waarvan hun gemeenschappelijke graviteitcentrum, vanwege de massa van de aarde onder het oppervlak van de aarde ligt. Omdat de maan elke dag een stuk verder draait, duren twee getijden niet ongeveer 24 uur, maar circa een uur langer.

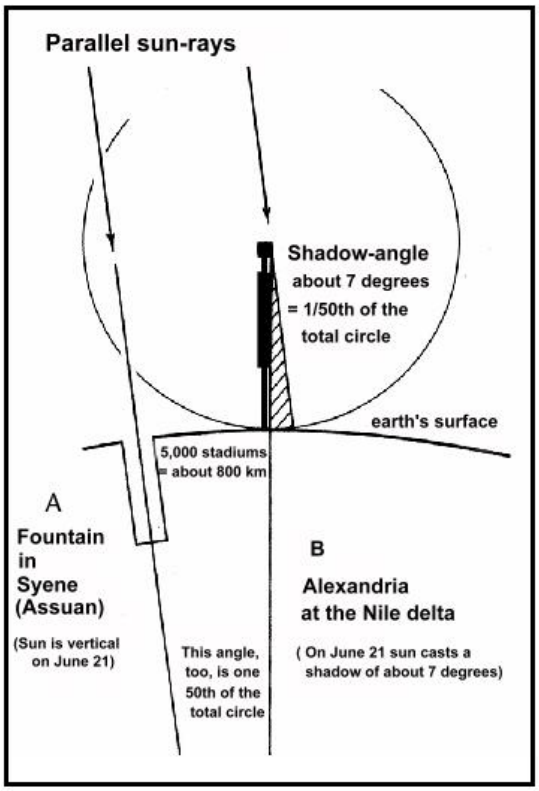
Een week na het springtij staan de aarde, de zon en de maan in een rechte hoek ten opzichte van elkaar. Het is halve maan. De krachten die zorgen voor de getijden worden zwakker. Er is nu overal op de wereld doodtij. Bij doodtij zijn de hoogwaterstanden lager en de laagwaterstanden iets hoger, dat wil zeggen het verschil tussen hoog en laagtij, het getijdenbereik is kleiner.

Tip: De maankrachten zijn sterker dan de krachten die de zon betreffen.
Het onderscheid tussen springtij en doodtij kan aan de Duitse Noordzeekust enkele decimeters uitmaken. Het samenvallen van een springtij met een toevallige krachtige stormgebeurtenis leidt tot bijzonder hoge waterstanden en de kust. Zulke springvloeden worden zeer gevreesd.

12. Meting van de omtrek van de aarde

De omvang van de aarde kan niet rechtstreeks worden gemeten, daarom is een indirecte meting noodzakelijk. De Griekse astronoom Eratosthenes mat de diameter van de aarde rond 240 voor Christus met behulp van een eenvoudige geometrische wet. Hij wist dat de zon op de dag van de zomerzonnewende om 12 uur 's middags in het zenit (hoogste punt) boven de stad Aswan (A) zou staan (geen schaduw-vorming), want er was een bron bij Syene (het huidige Aswan), waarin, een keer per jaar de zon weerspiegelt. Op deze dag op het zelfde tijdstip wierp de zon in Alexandria (B) een schaduw, wat erop duidde, dat de zon niet in zenit boven de stad stond. De schaduw toonde aan, dat de positie van de zon 7°14' van zenit afweek. Eratosthenes concludeerde, dat lichtstralen die van een verafgelegen bron komen, de aarde parallel raken, en omdat hij wist dat de afstand tussen de twee steden ongeveer 800 km (hij mat 5.000 stadiën) bedraagt, kon hij de omtrek van de aarde als volgt berekenen.
7° is ongeveer 1/50 van de totale aardomtrek (360°). De omtrek van de aarde moet daarom 50 x 800 km (bij benadering de afstand tussen Aswan en Alexandrië) = ronde de 40.000 km (250.000 stadiën) bedragen.





We zetten het tellurium op 21 juni (zomer op het noordelijk halfrond) en plaatsen het schaduwfiguurtje op Aswan. We draaien de wereldbol heen en weer tot het figuurtje geen schaduw meer heeft. De zon staat loodrecht boven Aswan en het is midden op de dag.

We zetten nu het figuurtje op Alexandrië. Ze werpt een kleine schaduw naar het noorden.
We meten de afstand van Aswan naar Alexandrië met een stuk millimeterpapier. De afstand bedraagt 9 tot 10 millimeter. Met een schaal van de wereldbol van rond de 1:85 miljoen is dit ongeveer 800 kilometer. Het schaduwfiguurtje is 29 mm hoog en we beschouwen het als de straal van een kring met een omtrek van 182 mm. Een graad komt over een met 182:360, dus ongeveer 0,5 mm. We leggen het millimeterpapier aan de voet van het schaduwfiguurtje en lezen een schaduwlengte tussen de 3 en 4 mm. af. Bij 3,5 mm. krijgen we een hoek van ca. 7 graden. Dat is de hoek die ook Eratosthenes berekende.

Tip: In samenhang met de Verlichting in Frankrijk heeft men de meter als een kunstmatige eenheid gemaakt. Men bepaalde dat een kwart van de aardomtrek, dus eenmaal de afstand van de evenaar naar de pool, gelijk is aan 10.000 km. Een kilometer deelde men weer in 1.000 delen en zo werd de meter een 10.000.000 deel van het aardkwadrant.

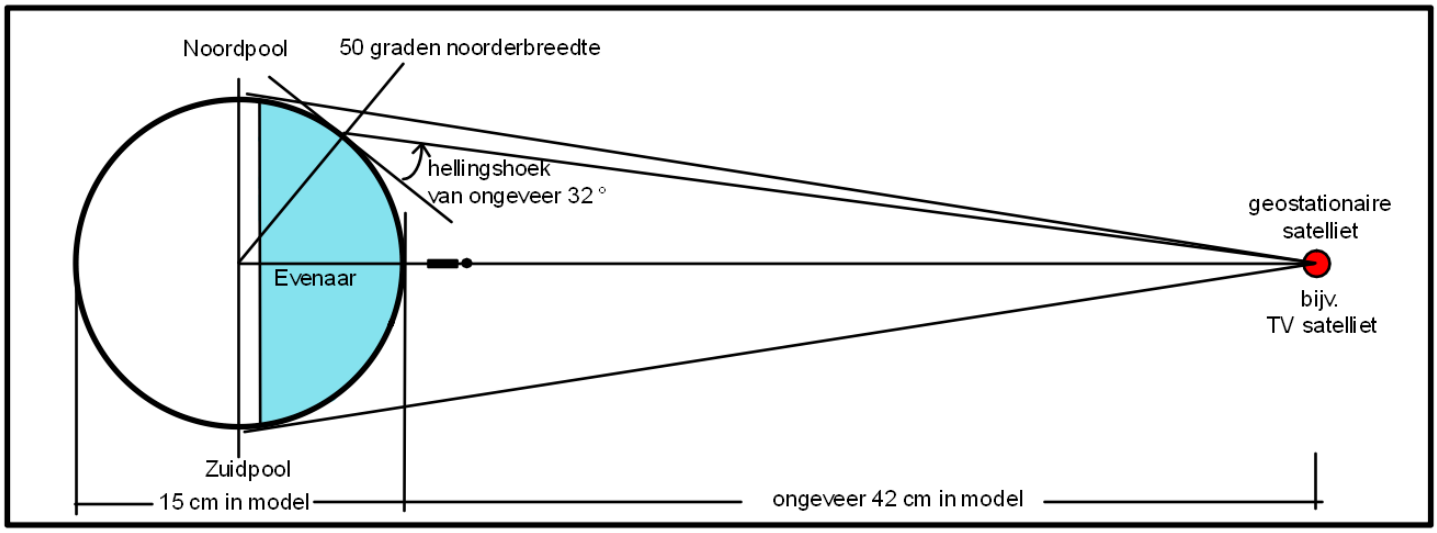
13. Geostationaire satelliet

Voorbereidingen
De rode maandindicator wordt op december gezet en de maan, zodat deze niet hindert, op de maand mei. De Fresnel-lens wordt weggehaald.
De stang met aan het eind een kogeltje of dopje wordt over het schaduwfiguurtje van de horizonschijf geschoven en de schijf met stang op de evenaar ten zuiden van Europa op de wereldbol geplaatst.
We veronderstellen dat de kogel/dop aan het eind van de stang een satelliet is. Met een afstand van 42,2 cm. van de aarde, is hij in vergelijking met een echte satelliet, qua schaal op de juiste afstand van de aarde.
Met een doorsnede van de wereldbol van 15 cm. en een bijbehorende aardomtrek van 47,1 cm. is de afstand van de satelliet tot het aardoppervlak iets minder dan de omtrek van de aarde.
De werkelijke maten zijn:

Aardomtrek:	40.000 km.
Afstand satelliet-aardoppervlak:	36.000 km.

Hoe zijn we tot een afstand van 36.000 km. gekomen? Op de satellieten werken de aantrekkingskracht van de aarde en de centrifugaalkracht. De aantrekkingskracht wil de satelliet naar de aarde trekken, de centrifugaalkracht wil de satelliet het helaal in slingeren. Bij een afstand van 36.000 km. houden de aantrekkingskracht van de aarde en de centrifugale kracht van de satelliet elkaar in evenwicht. De satelliet is gevangen tussen deze beide krachten en gaat in vaste positie ten opzichte van de evenaar in een vaste baan om de aarde. Omdat alleen boven de evenaar deze twee krachten zo uitwerken, kunnen alleen maar hier en nergens anders geostationaire satellieten worden gepositioneerd.

We draaien de wereldbol met de satelliet langzaam tegen de wijzers van de klok in. Het tellurium laat duidelijk zien dat de satelliet altijd zijn vaste positie ten opzichte van de evenaar behoudt. Deze positie noemt men geostationair. Via zo'n satelliet kunnen we constant naar een gelijkblijvend ontvangstgebied blijven zenden. Er moet altijd een zichtverbinding met de satelliet zijn, want huizen en bomen in de zichtstraal storen de ontvangst.
In 24 uur draait de aarde eenmaal om zijn as. Daarbij legt de horizonschijf op de aarde 40.000 km af. Ze heeft dus een snelheid van 40.000 : 24 = 1.667 km / uur. Bij de satelliet moeten we ook de 36.000 km boven het aardoppervlak in beschouwing nemen, plus 6.300 km tot het middelpunt van de aarde, dat geeft een straal van 42.300 km. De omtrek van een cirkel is π maal de diameter ofwel 2π maal de straal (2π*r*), is 265.600 km. Verdeeld in 24 uur geeft dat circa 11.000 km. De satelliet vliegt dus met een snelheid van 11.000 km / uur door de ruimte.
Leggen we een 50 cm lange liniaal ernaast, dan zien we, dat we aan de polen geen zichtcontact met de satelliet kunnen bewerkstelligen. Dus in de poolgebieden kan geen tv-beeld van een stationaire satelliet worden ontvangen. Het figuur hieronder maakt de situatie duidelijk.



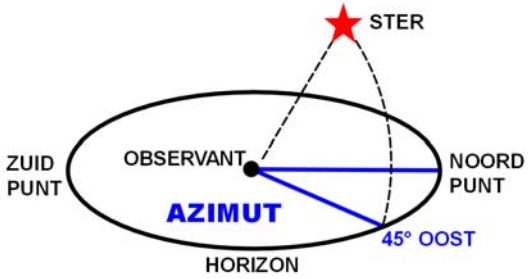
We zien ook dat de antennes voor de ontvangst van satellietsignalen in Duitsland, liggend op een noorderbreedte van gemiddeld 50° een hellingshoek van ongeveer 32° ten opzichte van de horizon moeten maken om de meest optimaal ontvangst te krijgen.
De satelliet is altijd in het zuiden en boven de evenaar, maar het kan ook een positie van enkele graden naar het westen (meer dan 180° geografische azimut) of naar het oosten (minder dan 180° geografische azimut) hebben. De ASTRA-satelliet staat op een positie, die tegenover de zuidrichting 19,2° naar het oosten afwijkt, boven de breedtegraad van 19,2 oostelijk. Bekeken vanuit Hamburg heeft de satelliet een positie van 28,3° boven de horizon, in München 34,2° en in Frankfurt 31,7°.

Resultaten: Geostationaire satellieten staan altijd tegenover hetzelfde punt op de evenaar op een hoogte van 36.000km boven het aardoppervlak. Hier houden de centrifugale kracht en de aantrekkingskracht van de aarde elkaar in evenwicht. In ver afgelegen ontvangstgebieden worden de signalen in een hoek gezonden. In de poolgebieden is geen ontvangst mogelijk.

Begrippen

Aardas: Het begrip aardas kan worden uitgelegd als de denkbeeldige lijn die van pool tot pool door het aardmiddelpunt loopt.

Azimut: Het azimut is een van de coördinaten uit het horizon-coördinatenstelsel. In dit stelsel wordt de positie van een object aan de hemel aangegeven door de twee coördinaten: azimut en hoogte of elevatie. Het azimut is daarin de horizontale component, de kompasrichting, dus de hoek met het noorden gemeten over het oosten. Gewoonlijk wordt het azimut uitgedrukt in graden. De positie van een ster aan de hemel wordt dus aangegeven door het azimut (de kompasrichting) en de hoogte (de hoek tussen de ster en de horizon). De gehele cirkel is 360°, noord=0°, oost=90°, zuid=180°, west=270°
Het azimut van een hemellichaam bijvoorbeeld komt overeen met de kompasrichting waarin dat hemellichaam wordt waargenomen; het is de hoek tussen het noordpunt en het snijpunt van de horizon met het meridiaanvlak die door het hemellichaam loopt, gemeten in de richting vanuit noord naar oost en wordt uitgedrukt in graden.
Als voorbeeld; een ster die zich precies in het oosten bevindt heeft een azimut van 90°.



Ecliptica: Van de zon uit gezien is de ecliptica de jaarlijkse baan van de aarde om de zon in een constant vlak.

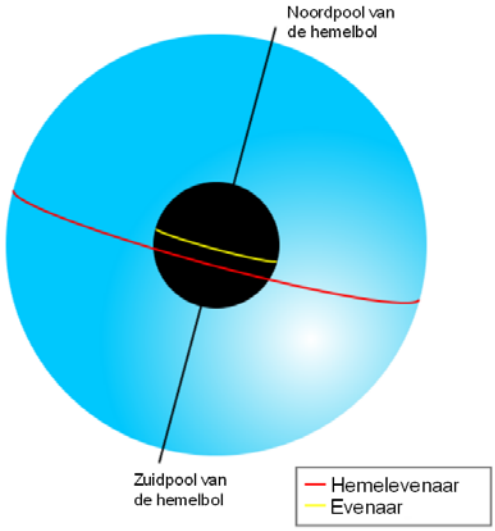
Equinox (nachtevening): Een equinox (Latijn: gelijke nacht) ook wel nachtevening genoemd, is het tijdstip waarop de zon loodrecht boven de evenaar staat, of anders bekeken, als de zon in één van de snijpunten van de ecliptica en hemelevenaar staat. Bij de equinox is de lengte van dag en nacht overal op aarde ruwweg gelijk en komt de zon precies in het oosten op. Een uitzondering hierop zijn de Noord- en Zuidpool. Daar komt de zon op bij de ene equinox en gaat hij onder bij de andere equinox. Een ander woord voor equinox is dag- of nachtevening.
Er vindt op aarde tweemaal per jaar een equinox plaats, namelijk op of rond 20 maart (Latijn: aequinoctium vernum) en op of rond 23 september (Latijn: aequinoctium autumnale). Omdat op het noordelijk halfrond deze equinoxen (of equinoctes) respectievelijk aanduiden het begin van de lente en het begin van de herfst worden beide vaak onderscheiden als lente-equinox en herfstequinox. Deze namen zijn echter maar relatief: op het zuidelijk halfrond betekend de equinox van maart juist het begin van de herfst en de equinox van september het begin van de lente.

Datum en tijd van Zonnewende en Equinox

jaar	Equinox maart		Zomerwende juni		Equinox september		Winterwende december	
	dag	tijd	dag	tijd	dag	tijd	dag	tijd
2009	20	11:44	21	05:45	22	21:18	21	17:47
2010	20	17:32	21	11:28	23	03:09	21	23:38
2011	20	23:21	21	17:16	23	09:04	22	05:30
2012	20	05:14	20	23:09	22	14:49	21	11:11
2013	20	11:02	21	05:04	22	20:44	21	17:11
2014	20	16:57	21	10:51	23	02:29	21	23:03
2015	20	22:45	21	16:38	23	08:20	22	04:48
2016	20	04:30	20	22:34	22	14:21	21	10:44
2017	20	10:28	21	04:24	22	20:02	21	16:28

Gyroscoop: een gyroscoop is een tol

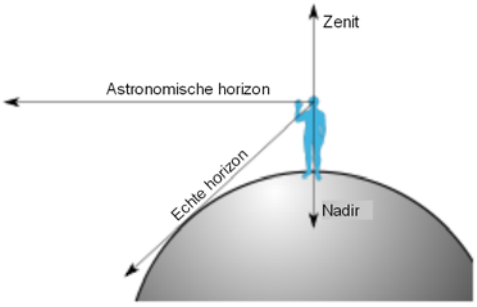
Hemelbol: In de astronomie en de navigatie is de hemelbol of hemelsfeer een denkbeeldige roterende bol met een gigantische straal die concentrisch is met de aarde en tegen de achtergrond waarvan de hemellichamen worden waargenomen. Van alle voorwerpen in het heelal kan worden gedacht dat zij liggen op deze bol. Men spreekt over de hemelevenaar, zenit en nadir als respectievelijk de evenaar, de noordpool en de zuidpool van de hemelbol. Dit zijn de projecties van de evenaar, noordpool en zuidpool van de aarde op de hemelbol.



Hemelevenaar: De hemelevenaar of hemelequator is een term gebruikt in de astronomie, die de denkbeeldige cirkel aanduidt, die de hemelbol als het ware in twee delen verdeelt, een noordelijk en een zuidelijk halfrond. De hemelevenaar is de projectie van de aardse evenaar op de hemelbol, en ligt dus in hetzelfde vlak als de (aardse) evenaar. Men kan dit vergelijken met de functie van de evenaar op het aardoppervlak.
Aan de hand van hemelcoördinaten kan men, gerekend vanuit de positie van de hemelequator (per definitie 0º), de plaats van objecten aan de hemel ten noorden of ten zuiden daarvan bepalen. Men noemt dat positieve resp. negatieve declinatie. Voor een volledige plaatsbepaling is tevens de coördinaat van de rechte klimming nodig. De hoek tussen de hemelequator en de ecliptica bedraagt ~23,5º.

Maan: De maan is ongeveer 4,5 miljard jaar oud, zodat hij bijna gelijk met de aarde ontstond. De maan draait om de aarde met een gemiddelde afstand van 384.000 km en van oost naar west.

Zenit(h): Het zenit of zenith is het hoogste punt van de sterrenhemel gezien vanuit het punt waar de waarnemer staat. Het is dus het punt recht boven de waarnemer.



Zon: De zon is een van de miljarden sterren in het heelal. Het is een middelgrote ster die 4,6 miljard jaar geleden ontstond. De diameter van de zon is 1.392.000 km. De aarde past er meer dan 1.000 keer in. De zon bestaat voor 71% uit waterstof en voor 27% uit helium en 2% uit zwaardere elementen.
De oppervlaktetemperatuur is ongeveer 5.500° C. De gemiddelde afstand van de aarde tot de zon is 149.600.000 km. Het zonlicht heeft 8,3 minuten nodig om de aarde te bereiken.

Zonshoogte: Hoek waaronder de zon boven de horizon staat.

Colofon
Leverancier, distributeur
Eurofysica B.V., Rosmalen

Productontwikkeling en teksten
Prof dr. Jürgen Newig i.s.m. Dick Rozing Geografie en Onderwijs, Amersfoort

Dit is een uitgave van Dick Rozing Geografie en Onderwijs i.s.m. Eurofysica B.V.