

“VAN NATURE EEN MONUMENT”

Van hemellandschap tot klok

Met deze presentatie schetsen we, zonder veel astronomische terminologie, hoe de bewegingen van Aarde, Maan, Zon en sterren hebben geleid tot de systemen voor tijdsmeting en tijdsindeling zoals we die nu kennen. Fundamentele vooruitgang in de fysica en steeds nauwkeuriger waarnemingen hebben geleid tot een groeiend inzicht in de complexiteiten van de hemelmechanica.

Dagen, seizoenen en getijden geven de eerste eenvoudige ritmen. In de ontwikkeling van tijdssystemen werden telkens nieuwe onvolmaaktheden duidelijk. Men stelde vast dat het hemellandschap heel wat verrassingen verborgen hield, die van tijdsmeting en tijdrekening een complexe materie maken. Problemen bestaan nog steeds. Tijd en ruimte blijven voor mysteries zorgen.

Voor het oneindig kleine tijdsinterval dat u bij de KlokkenDokter op consultatie bent, wensen de organisatoren U een voorspoedige trip doorheen het grenzeloze tijdlandschap.

Wat waren de problemen?

Welke bewegingen hebben ons van hemellandschap tot klok gebracht?

Met dank aan:

Veerle Heyman
Tjitske Beemster
Walter Van Wesenbeeck
Open Monumentendag Vlaanderen
Gemeente Kapellen, Hilde Seuntjens

Teksten en onderzoek:

Jos Pauwels
Bernard Meier



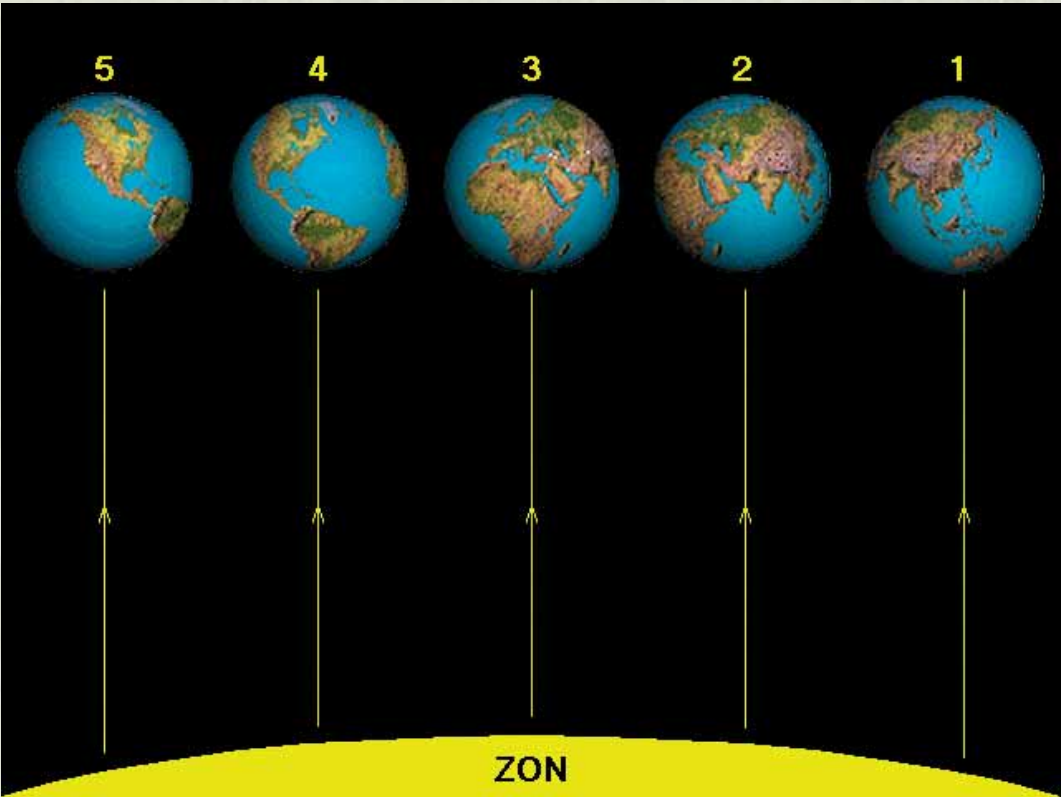
De eerste beweging

De aarde draait rond haar as

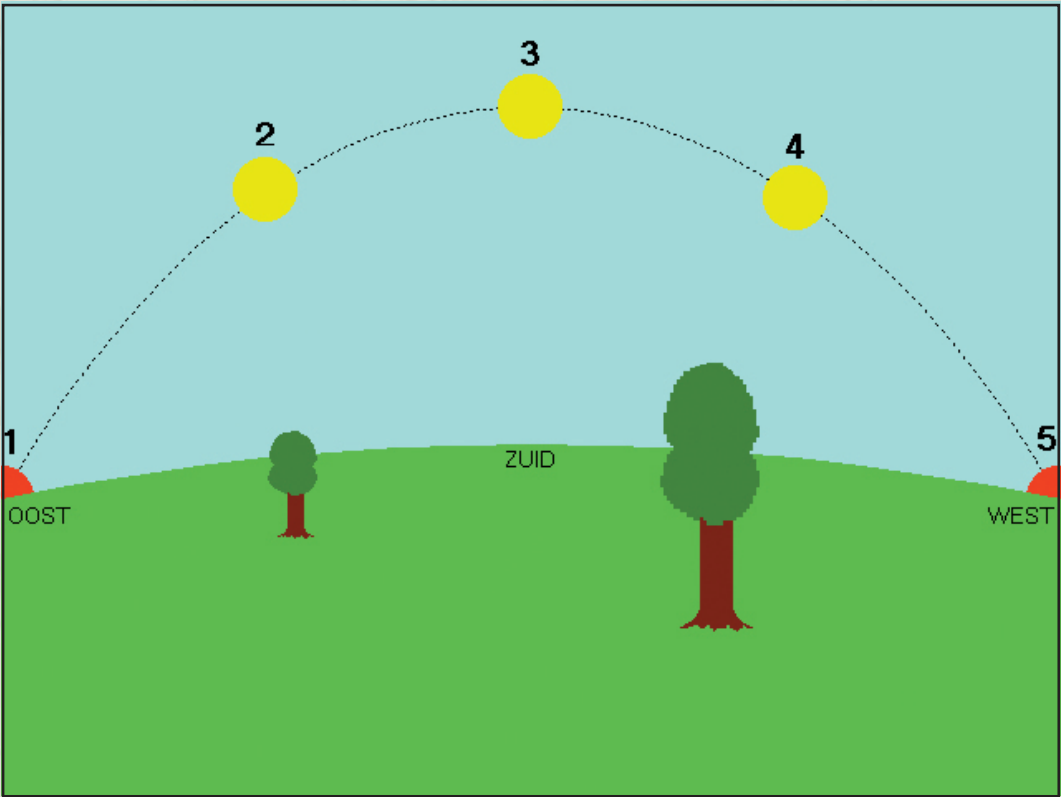
We gaan niet te moeilijk beginnen: iedereen weet dat de Zon in het oosten opkomt, op haar hoogste stand door het zuiden gaat en in het westen ondergaat.

Copernicus verklaarde dit in 1543: de Aarde draait om haar as terwijl ze zich in een baan om de Zon beweegt. We beleven een permanente kermis, rond de Zon draaiend op een grote paardenmolen.

Wat er gebeurt



Wat we zien



	Onderste figuur	Bovenste figuur
Positie 1	De Zon komt op	In Japan is het middag
Positie 2	Het is 9u	In Pakistan is het middag
Positie 3	Het is 12u	In Europa is het middag
Positie 4	Het is 15u	In Zuid-Amerika is het middag
Positie 5	De Zon gaat onder	In Noord-Amerika is het middag

De tweede beweging

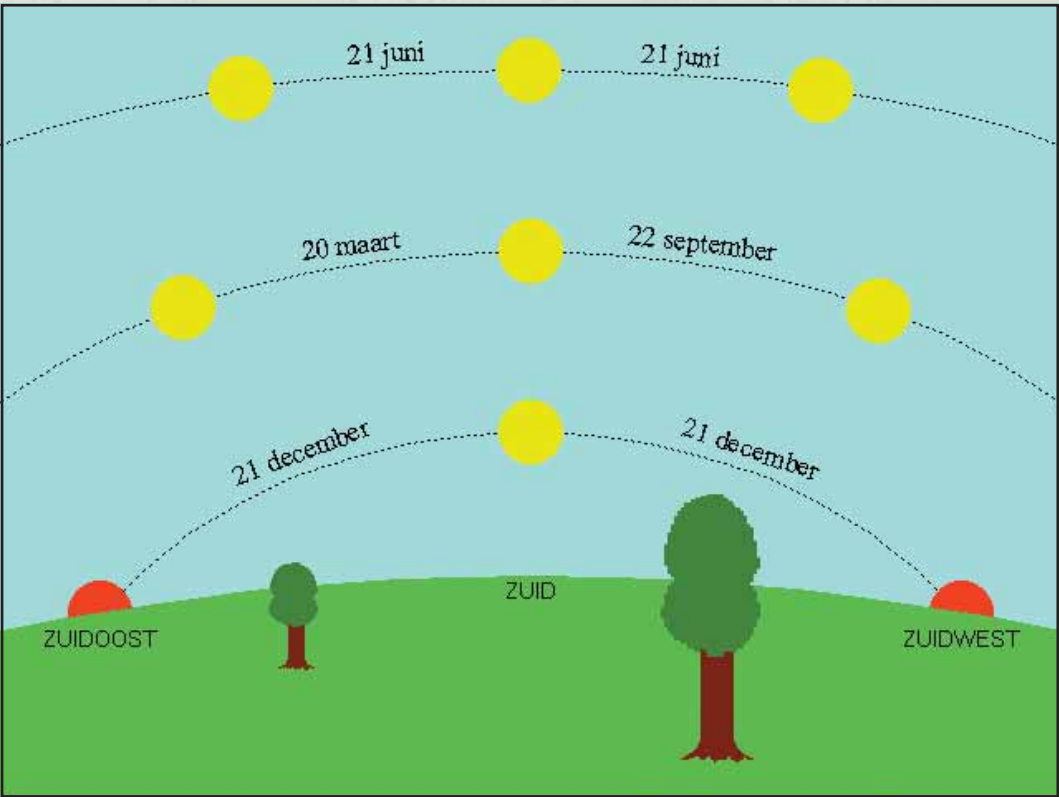
De aarde draait rond de zon

De jaarbeweging is iets ingewikkelder en het zal wel iets langer geduurd hebben vooraleer de mens begreep dat de afwisseling van de seizoenen in verband houdt met de hoogte van de Zon en de lengte van schaduwen.

Wat er gebeurt



Wat we zien



	Eerste figuur	Tweede figuur
21 dec	De Zon schijnt op de Steenbokskeerkring Winter in het noordelijke halfrond Zomer in het zuidelijke halfrond	Laagste Zonnestand
20 mrt	De Zon schijnt op de evenaar	Dag en nacht even lang
21 juni	De Zon schijnt op de Kreeftskeerkring Zomer in het noordelijke halfrond Winter in het zuidelijke halfrond	Hoogste Zonnestand
22 sept	De Zon schijnt op de evenaar	Dag en nacht even lang

De Egyptenaren wisten al dat een jaar niet juist 365 dagen telt. Eens per jaar staat de ster Sirius juist boven de opkomende Zon. Ze telden het aantal dagen tussen twee opeenvolgende posities van Sirius boven de opkomende Zon en vonden 365 dagen. Na zo een aantal jaren te hebben geteld, stelden ze vast dat het niet meer klopte. Ze moesten langer wachten dan 365 dagen vooraleer Sirius opnieuw boven de opkomende Zon stond. Een jaar duurt dus langer dan 365 dagen en is korter dan 366 dagen. Hoe maken daarmee een kalender?

Probleem

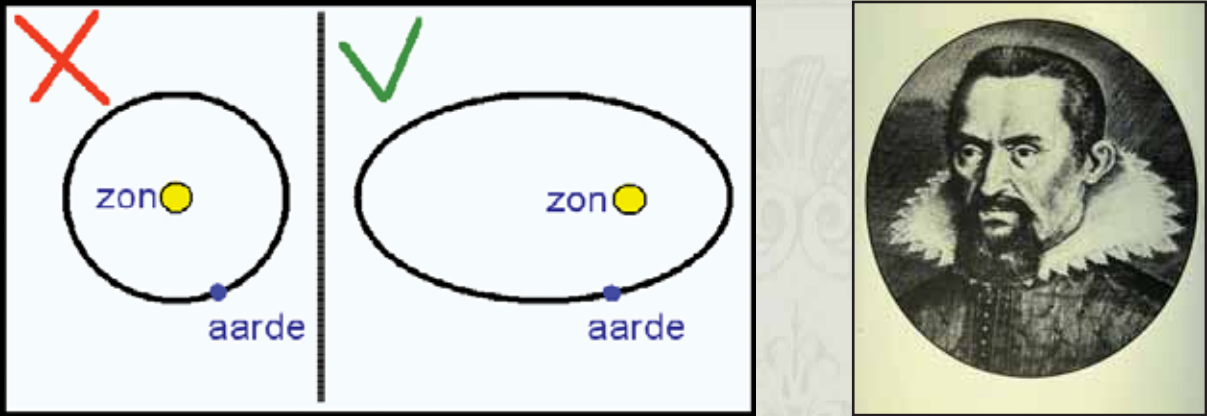
Een jaar heeft geen geheel aantal dagen
1 jaar = 365, 2422 dagen

De derde beweging

De baan van de aarde om de zon is geen cirkel maar een ellips

In 1609 berekende Kepler dat de banen van de planeten geen cirkels zijn maar ellipsen. Zo is ook de baan van de Aarde geen cirkel maar een ellips met de Zon in één van de brandpunten.

Als het winter is op het noordelijk halfrond staat de Aarde 5.000.000 km dichterbij de Zon dan in de zomer. Op het zuidelijk halfrond is dit omgekeerd. De winters zijn er bijgevolg iets kouder en de zomers iets warmer dan bij ons.



Afstand Aarde - Zon	
21 december	147 159 425 km
20 maart	149 029 398 km
21 juni	152 036 315 km
22 september	150 151 382 km

De afstand Aarde - Zon is niet constant.

Wat er gebeurt

Hoe dichterbij de Aarde bij de Zon staat hoe sneller ze er rond draait. Hierdoor worden de etmalen iets korter.

Wat we zien

In de winter duurt een etmaal in Kapellen enkele seconden minder dan 24 uren

Wat er gebeurt

Hoe verder de Aarde van de Zon staat hoe trager ze er rond draait. Hierdoor worden de etmalen iets langer.

Wat we zien

In de zomer duurt een etmaal in Kapellen enkele seconden langer dan 24 uren

Probleem

Het is niet eenvoudig om een eenparige mechanische kloktijd te harmoniseren met etmalen van variabele duur.

De vierde beweging

De schuine aard-as

Wat er gebeurt

De aardas staat schuin ten opzichte van het baanvlak van de Aarde om de Zon en blijft evenwijdig aan zichzelf.

Wat we zien

De Zon schijnt soms meer op het noordelijk halfrond en soms meer op het zuidelijk halfrond. Zo ontstaat de opeenvolging van de seizoenen.

In 1608 vergeleek Simon Stevin dit met de naald van een kompas die steeds het noorden aanwijst, ook al vaart het schip rondjes in een slotgracht om een kasteel. Zo schrijft hij in zijn boek "Vanden Hemelloop":

"Ghenomen dat ymant opt middelpunt des ront papiers van een seecompas stack een stroyken, streckende ewewijdich metten as des Eertcloots, dat seecompas staende in een schip, varende neem ick in een ronde gracht van een Slot of Schans, t'is kennelick dattet selve schip een keer ghedaen hebbende van plaets tot plaets na d'een sijde, soo sal daerentusschen t'compas in sijn plaets oock eens ghekeert sijn na d'ander sijde, dats teghen den keer vant schip, [...], blijvende het boveschreven stroyken gheduerlick ewewijdich metten as des Eertcloots."



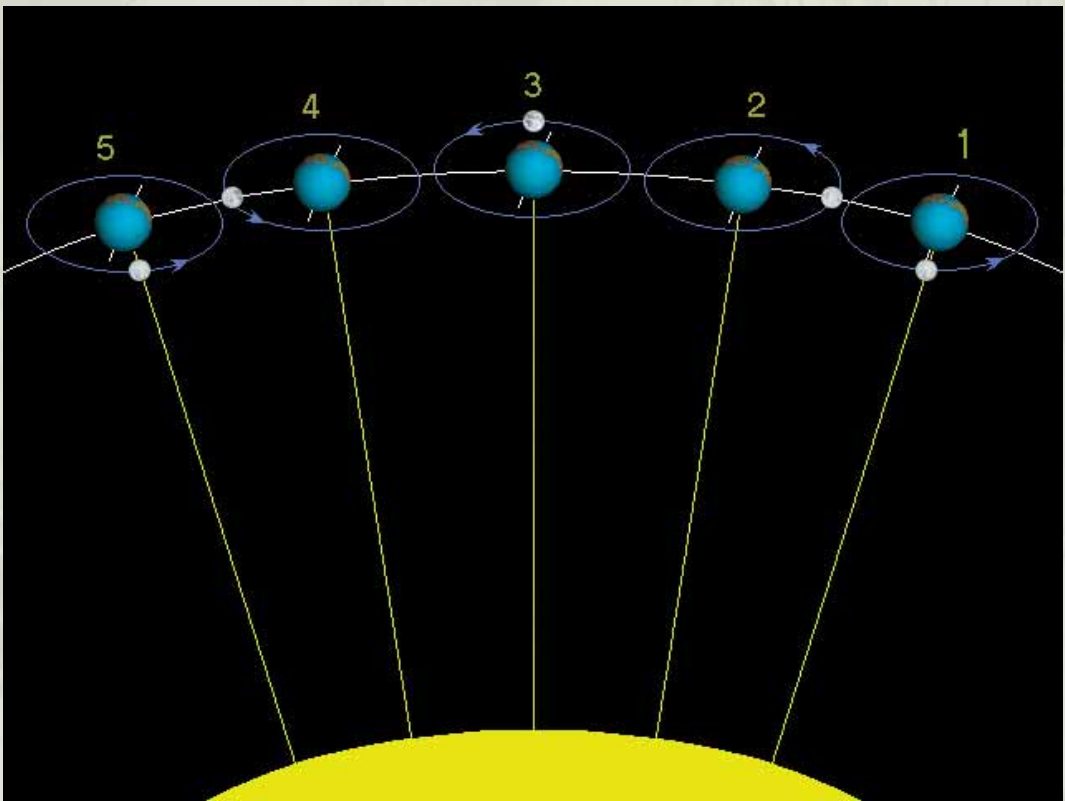
Probleem

Door de schuine stand van de aardas ten opzichte van het aardbaanvlak om de Zon, varieert de lengte van een etmaal. Soms is een etmaal enkele seconden korter dan 24uur, soms enkele seconden langer.

De vijfde beweging

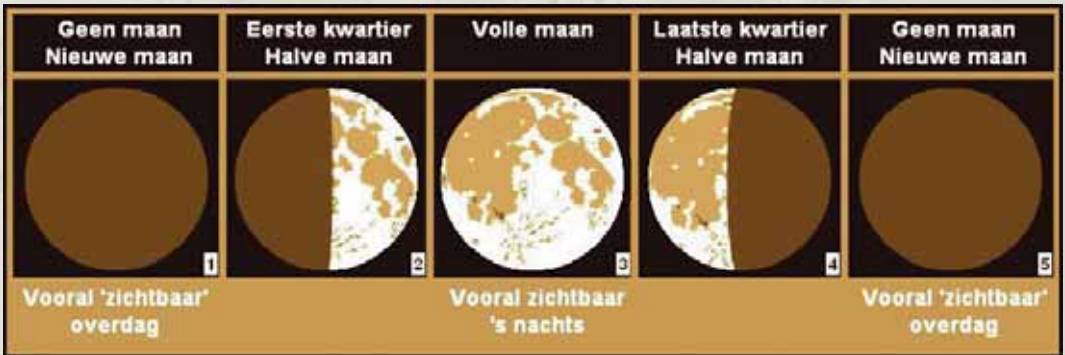
De maan draait rond de aarde

Wat er gebeurt



1. Nieuwe Maan op 20 maart 04
2. Eerste Kwartier op 28 maart 04
3. Volle Maan op 5 april 04
4. Laatste Kwartier op 12 april 04
5. Nieuwe Maan op 19 april 04

Wat we zien



De Maan is steeds een mysterieuze verschijning geweest aan het firmament, soms overdag, soms 's nachts, soms vol, soms half en soms helemaal niet zichtbaar. Veel nut leek ze niet te hebben: ze geeft geen warmte en weinig licht. Net een mislukte zon. Toch geeft ze in het hemellandschap een beeld van de voortschrijdende tijd. Haar fasen werden gebruikt voor het bedenken van kalenders.

Een overblijfsel van dat “Manen tellen” is de Paasdatum, die nog steeds valt op de eerste zondag na de eerste volle Maan van de lente.

	Eerste figuur	Tweede figuur
Fase 1	In Europa zien we geen Maan In Hawaï staat de Maan juist naast de zon	Geen Maan
Fase 2	In Europa gaat de Maan onder In Hawaï komt de Maan op	Eerste kwartier
Fase 3	In Europa staat de Maan in het zuiden In Hawaï is het middag	Volle Maan
Fase 4	In Europa komt de Maan op In Hawaï gaat de Maan onder	Laatste kwartier
Fase 5	In Europa zien we geen Maan In Hawaï staat de Maan juist naast de zon	Geen Maan

Probleem 1

Hoe maken we kalenders met een Maanmaand (van fase 1 tot fase 5) van 29,5306 dagen

Probleem 2

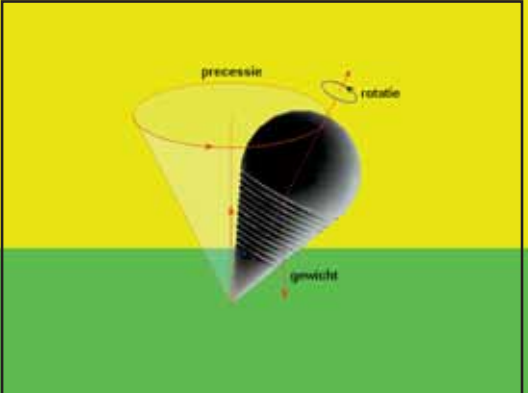
Hoe maken we kalenders met een jaar van 12,37 Maanmaanden

De zesde beweging

De aarde draait in 24 uur om haar as
maar die as draait ook nog eens rond in 25.770 jaar

Deze beweging noemt men de precessie.

Wat er gebeurt

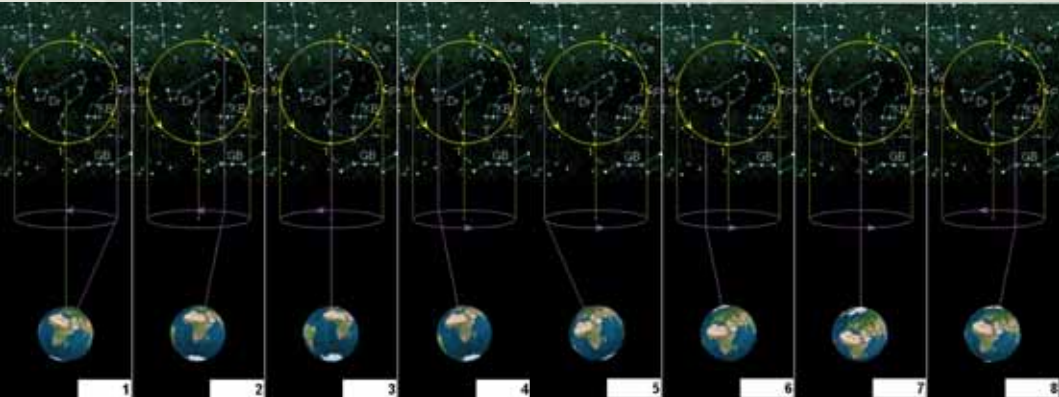


De Aarde is te vergelijken met een tol die niet precies rechtop staat.

Hipparchos ontdekte reeds in de tweede eeuw voor Christus dat de sterren niet zo stilstonden als men dacht. Hij stelde vast dat ze langzaam verschuiven t.o.v. de seizoenen.

Het was wachten tot Newton zijn appel uit de boom zag vallen om de oorzaak van deze beweging te begrijpen. Op de Aarde werken zowat dezelfde krachten als op een tol en op dezelfde wijze draait de Aarde niet alleen om haar as, maar draait die as ook nog eens rond.

Wat we zien



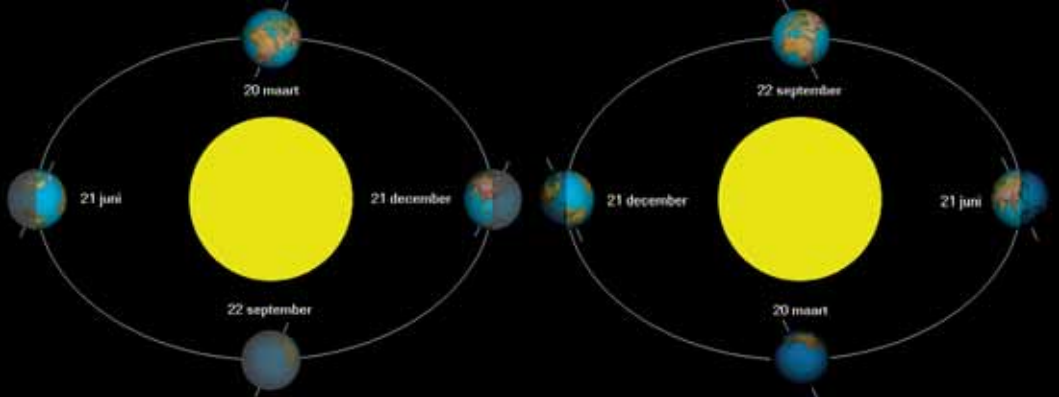
Figuur 1 geeft de huidige situatie aan. De Aard-as wijst naar de Poolster (P).

Figuur 2 bereiken we binnen 3220 jaar. De ster Alderamin (A) zal dan de functie van de Poolster overnemen.

Figuur 5 geeft de positie van de Aarde binnen 12.885 jaar. Dan zal de ster Wega de hemelnoordpool aanduiden. De Zon zal in maart in het sterrenbeeld “Leeuw” staan. We zien dat de Aarde dan naar de andere zijde gekanteld zal zijn t.o.v. vandaag.

Sterren	Sterrenbeelden	Tijdstip
A : Alderamin	Ce : Cepheus	1 : 5000 voor Christus
P : Poolster	Dr : Draak	2 : 1 na Christus
T : Thuban	GB : Grote Beer	3 : 2000 na Christus
W: Wega	KB : Kleine Beer	4 : 8000 na Christus
	Zw: Zwaan	5 : 15000 na Christus

Over 12.885 jaar zullen de zomer- en winterposities omgewisseld zijn. De linkse figuur is de situatie nu. De rechtse die over 12.665 jaar.



Astronomen verschuiven de seizoenen met de veranderende stand van de Aard-as. De seizoenen blijven dus hetzelfde zijn in januari.

De seizoenen verschuiven dus met de veranderende stand van de Aard-as. De seizoenen blijven dus hetzelfde zijn in januari.

Probleem

Onze kalender, de Zon en de dierenriem verschuiven ten opzichte van elkaar. De Zon bevindt zich op een andere plaats in de dierenriem dan aangegeven in de kalender.

De kalender, de Zon en de dierenriem verschuiven ten opzichte van elkaar. De Zon bevindt zich op een andere plaats in de dierenriem dan aangegeven in de kalender.

De zevende beweging

De aardrotatie vertraagt

Wat er gebeurt

De Aarde draait steeds trager om haar as.

U mag echter nog zolang op onze draaiende paardenmolen blijven zitten als u wilt. Dit vertragen gebeurt heel langzaam: iedere dag duurt $1/500^{\text{ste}}$ langer.

Wat we zien

Rond 1870 bemerkte de Amerikaanse astronoom Simon Newcomb, dat naargelang de tijd verstreek, de voorspelde Maanposities steeds meer voorliepen op de reële waarnemingen. Hij concludeerde hieruit dat de aardrotatie vertraagde.



Probleem

Wat doen we met een seconde die steeds langer wordt.

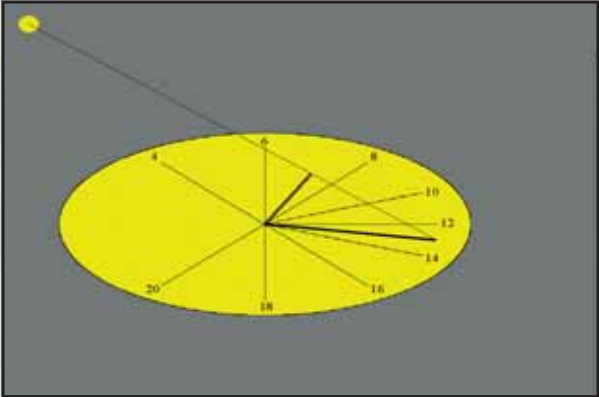
Logischer wijze werd een seconde gedefinieerd is als het 86.400^{ste} deel van een etmaal ($24 \text{ uren} \times 60 \text{ minuten} \times 60 \text{ seconden} = 86.400$). Dat idee is nu verlaten.

De zonnewijzer

Het oudste instrument dat toeliet om het voortschrijden van de dag te volgen

Bestaande uit de volgende 2 onderdelen:

- De **gnomon** of **stijl** (bruin op de figuur) die naar de Poolster is gericht.
- Het **tafereel**, dit is het vlak waarop de schaal wordt getekend. Meestal is de 12-uurlijn precies noordwaarts gericht. De schaduw van de stijl geeft dan de ware Zonnetijd.



Het aflezen

Hoe laat is het? Als de schaduw 13u aanduidt, is het 13u ware Zonnetijd. Zo heeft elke plaats haar eigen uur. In Brasschaat zou het eerst 13u geweest zijn, in Kapellen was dat iets later en in Stabroek was dat nog later. Dat is de zonnetijd. Hoe zit het nu met de kloktijd?

Winteruur

Als hier in Kapellen de Zon 13u aanwijst, dan duurt het nog 18min eer de Zon in Greenwich 13u zal aanwijzen, het is daar dus 12u 42 ware Zonnetijd. Het is de stand van de Zon t.o.v. het Observatorium van Greenwich die de tijd bepaalt voor de gehele wereld. De tijdzone waarin Greenwich zich bevindt noemt men de West-Europese Tijd (W.E.T.). België ligt in de Midden-Europese Tijdzone (M.E.T.). In de winter staat onze tijdzone een uur voor op Greenwich.

Om van 13 uur zonnewijzertijd naar de kloktijd te komen rekenen we:

$$13u - 18 \text{ min} + 1u = 13u \text{ 42}$$

Zomeruur

In de zomer gebruiken we de Oost Europese Tijd (O.E.T.). In het voorjaar zetten we onze klokken nog een uur vooruit.

Als de zonnewijzer dan 13u aanduidt, is het op onze klok in de zomer :

$$13u - 18 \text{ min} + 2u = 14u \text{ 42}$$

De tijdsvereffening

Toch komt de tijd die we zo gevonden hebben nog niet overeen met de tijd op de klok van de KlokkenDokter. Het probleem is dat de zonnewijzer-etmalen in een jaar niet allemaal 24 uur lang zijn. De ene keer loopt onze zonnewijzer een paar seconden voor, de andere keer wat achter. Die paar seconden afwijking per dag maken dat de Zon begin november een half uur vroeger door het zuiden gaat dan begin februari.

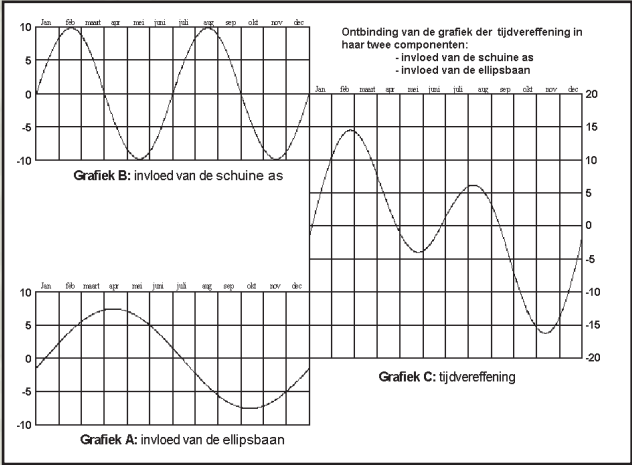
De oorzaken van dit wispelturig gedrag van de Zon zijn tweeërlei:

- de aardbaan om de Zon is geen cirkel maar een ellips
- de Aard-as staat schuin t.o.v. van het baanvlak van de Aarde om de Zon.

Het wispelturige gedrag van de Zon is waar te nemen door met een recht naar het zuiden gericht fototoestel om de veertien dagen op hetzelfde klok-uur een foto te nemen van de Zon. We krijgen dan een 8-vorm, het *analemma* van de Zon of de tijdsvereffeningslus.

Een mechanische klok is niet in staat om dat wispelturige gedrag van de Zon te volgen. Daarom is de middelbare Zon bedacht, waarbij de afwijkingen zijn uitgevlakt en alle etmalen even lang duren.

Het verschil tussen de middelbare zonnetijd en de ware zonnetijd noemt men de tijdsvereffening. Ze wordt gegeven in een grafiek.



Conclusie

De kloktijd in Kapellen is: zonnewijzertijd - 18 min + 2u + tijdsvereffening.

Wie *op tijd* zaait, zal oogsten

Waarom moest men zonodig de tijd kunnen bepalen?

Wat dreef de oermens om zijn leven in te gaan richten volgens de bewegingen van de Zon, de Maan en de planeten?

Als je wil boeren, moet je weten wanneer je moet zaaien en dat kon uit het hemellandschap worden opgemaakt.

Zo wisten de Egyptenaren dat als de ster Sirius in de ochtendschemering verscheen, de jaarlijkse overstroming van de Nijl er spoedig zou komen.

Voor de Chinezen was de juiste bepaling van het wintersolstitium erg belangrijk. Dan begon de zonnecyclus, die ingedeeld werd in 12 zonnemaanden van 30 dagen en $7/16$ van een dag (of $365,25 / 12$). Van elke zonnemaand bepaalde men nog het middelpunt. Zo regelden 24 mijlpalen het ritme van de landbouwactiviteiten gedurende een zonnejaar.

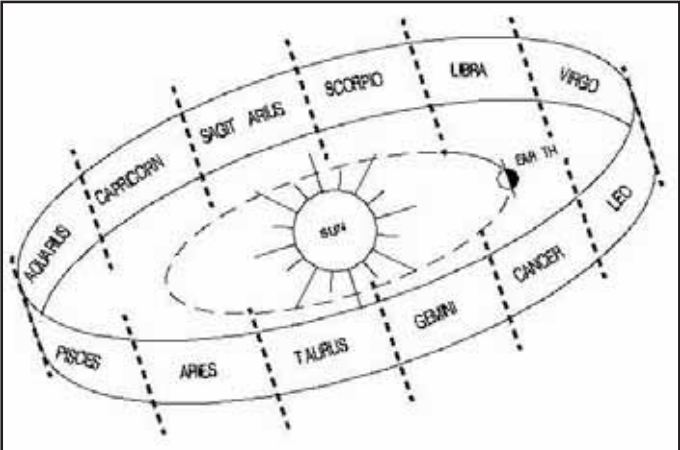
De belangrijkheid van jaarlijks terugkerende hemelverschijnselen vinden we dan ook terug in de architectuur van enorme bouwwerken zoals de piramiden bij de Egyptenaren en de zonnetempels bij de Inca's en de Maya's. Dichter bij ons hebben we Stonehenge, een 5000 jaar oude astronomische computer.



Bent u een slangendrager?

Dierenriem of Zodiak

De oorsprong van de Dierenriem of Zodiak ligt in het gebied van de Eufraat en de Tigris (het huidige Irak) enkele duizenden jaren voor het begin van onze jaartelling.



De astrologie (sterrenwichelarij) kwam toen tot ontwikkeling en er werd veel waarde toegekend aan de plaats van de Zon in het hemellandschap op het tijdstip van iemands geboorte.

In onze jaarlijkse omloop om de Zon staan er vanaf de Aarde gezien telkens andere sterrenbeelden, de 12 tekens van de Dierenriem, achter de Zon.

Op je verjaardag kan je je teken niet zien, het staat precies achter de Zon. Een half jaar later staat de Aarde aan de andere kant van de Zon. Zo moeten we de Leeuw dus niet in de eerste helft van augustus aan de hemel proberen te vinden, maar wel 's nachts in de eerste helft van februari.

Volgende punten illustreren het verschil tussen astronomen en astrologen

- De astronomische tekens zijn niet alle twaalf even groot. De Zon staat bijvoorbeeld 45 dagen in de Maagd en 6 dagen in de Schorpioen.
- Er zijn eigenlijk 13 tekens: Ben je geboren tussen 29 november en 18 december dan ben je een Slangendrager!
- Als gevolg van de precessie (tol-beweging) van de aardas, verschijnen de tekens elke 70 jaar één dag later. Astrologen trekken zich niets aan van die verschuiving. Dit heeft tot gevolg dat de tekens van de Dierenriem (en de horoscoop uit de gazet) tegenwoordig niet meer samenvallen met de gelijknamige sterrenbeelden. De *astronomische* Leeuw die op 12 september verjaart, is een *astrologische* Maagd!

Kijk maar in de tabel.

Nederlandse naam	Latijnse naam	Astronomie	Astrologie
Ram	Ariës	19 apr - 14 mei	21 mrt - 20 apr
Stier	Taurus	15 mei - 21 jun	21 apr - 20 mei
Tweelingen	Gemini	22 jun - 20 jul	21 mei - 20 jun
Kreeft	Cancer	21 jul - 10 aug	21 jun - 22 jul
Leeuw	Leo	11 aug - 16 sep	23 jul - 22 aug
Maagd	Virgo	17 sep - 31 okt	23 aug - 22 sep
Weegschaal	Libra	1 nov - 23 nov	23 sep - 22 okt
Schorpioen	Scorpius	24 nov - 29 nov	23 okt - 22 nov
Slangendrager	Ophiuchus	30 nov - 18 dec	
Boogschutter	Sagittarius	19 dec - 19 jan	23 nov - 21 dec
Steenbok	Capricornus	20 jan - 16 feb	22 dec - 20 jan
Waterman	Aquarius	17 feb - 11 mrt	21 jan - 20 feb
Vissen	Pisces	12 mrt - 18 apr	21 feb - 20 mrt

Kreeftskeerkring

In deze context zijn ook de keerkringen te vermelden, die eveneens enkele duizenden jaren geleden hun naam kregen. De *steenbokskeerkring* heet zo omdat de Zon rond het winterpunt (21/22 december) in het sterrenbeeld steenbok stond. Dat was een paar duizend jaar geleden inderdaad het geval. Tegenwoordig staat de Zon op 22 december echter in het teken *Boogschutter*. De juiste zou nu *boogschutterskeerkring* moeten zijn. Evenzo kunnen we is de naam *kreeftskeerkring* fout, de juiste naam is eigenlijk: *tweelingskeerkring*.

Hemel! De aarde valt stil!

Hoe lang duurt een seconde?

Dat lijkt een eenvoudige vraag. Je zou zeggen: 1 etmaal = $24 \times 60 \times 60$ seconden, dus een seconde duurt $1/86.400^{\text{ste}}$ deel van een etmaal. Astronomen en natuurkundigen hebben het iets ingewikkelder gemaakt.

Rond 1870 merkte de Amerikaanse astronoom Simon Newcomb dat de berekende banen van planeten en posities van de Maan steeds meer voorliepen op de waarnemingen en dit nam toe naarmate de tijd verstreek.

Newcomb besloot dat de afnemende snelheid van de aardrotatie de oorzaak moest zijn van de waargenomen afwijkingen. Aan hem danken we zelfs een wiskundige formule waarmee de vertraging is te berekenen: de Formule van Newcomb. Er was nu een groot probleem: de eenheid van tijd bleek variabel.

Men heeft besloten het jaar 1900 als referentiejaar te nemen voor het bepalen van de seconde. De seconde wordt gedefinieerd als het $1/31.556.925,9747^{\text{ste}}$ deel van het jaar 1900 ofwel het $1/86.400^{\text{ste}}$ deel van een gemiddeld etmaal in 1900. Er waren geen voldoende nauwkeurige klokken, zodat die seconde alleen wiskundig kon worden berekend met behulp van de Formule van Newcomb.



Dat veranderde met de atoomklok die in 1948 door Harold Lyons werd ontworpen. De maximale afwijking is 1 seconde per 300.000 jaar, waarmee zij alle andere klokken qua nauwkeurigheid overtreft (foto).

In 1956 neemt het Internationaal Comité voor Maten en Gewichten de referentieseconde van het jaar 1900 als eenheid over. Met deze nieuw gedefinieerde seconde begint men een nieuwe tijdrekening de TAI (of IAT): Temps Atomique International.

Het jaar 1 TAI

De kalender die we op het werk gebruiken begint bij de geboorte van Christus. De mohammedaanse kalender start bij de hidzjra, het moment dat de profeet Mohammed in het jaar 622 van onze tijdrekening van Mekka naar Medina trok. De joden beginnen te tellen vanaf het ontstaan van de wereld dat zou hebben plaatsgevonden in 3761 vóór Christus. De Chinezen zijn begonnen te tellen in 2697 vóór Christus bij de kroning van de eerste Chinese koning.

Het werd dus tijd dat ook de natuurkunde haar kalender had en zo werd in Parijs beslist om de TAI-kalender te starten op 1 januari 1958 om 0u 00min 00sec.

De cesium-atoomklok blijkt zo bruikbaar dat in 1967 op de Algemene Conferentie voor Maten en Gewichten in Parijs, de seconde gelijk gesteld wordt aan de duur van 9.192.631.770 perioden van de straling die wordt opgewekt bij de overgang tussen twee hyperfijne niveaus van de grondtoestand van het Cs^{133} atoom. Hij is gelijk aan het 86400^{ste} deel van een gemiddeld etmaal in 1900.

Universele tijd

Door de vertraging van de aardrotatie duurt iedere dag ongeveer $1/500^{\text{ste}}$ seconde langer. Het verschil met de TAI is nu al 32 seconden! Astronomen op de nul-meridiaan in Greenwich (foto) waken er over dat alles in de pas blijft lopen. Zij houden de Zon in de gaten en bepalen de UT, de Universele Tijd.

Als het verschil tussen TAI en UT meer dan 0,9 seconden is, wordt er aan het einde van het jaar een schrikkelseconde ingevoerd. Die dag duurt dan 86.401 seconden. Zo werd het op 31 december 1998 eerst 23u 59min 59sec. dan 23u 59min 60sec vooraleer het 00u 00min 00sec werd. Nieuwjaar viel toen 1 seconde later.

Deze gecorrigeerde tijd heet de UTC: de Gecoördineerde Universele Tijd. Hij volgt getrouw de TAI tot hij meer dan 0,9 seconden verschilt van de UT. Dan wordt er één seconde, de *schrikkelseconde* bijgeteld op het einde van het jaar. Op deze manier verschilt de UTC steeds een geheel aantal seconden van de TAI.



Wijzerzin, Zonzin...

Klok kijken

Ik realiseerde mij eigenlijk pas goed hoe ingewikkeld klokkijken is, toen ik het mijn kinderen wilde leren: als de grote wijzer op de "2" staat is het 10 minuten na het uur.

Het display van de microgolfoven bleek veel gemakkelijker. Eigenlijk is het allemaal niet zo vanzelfsprekend: een dag bestaat uit 24 uur, elk uur uit 60 minuten en elke minuut nog eens uit 60 seconden. Drie wijzers, die stevast naar rechts draaien.

Hoe is het allemaal begonnen?

In het land tussen Euphraat en Tigris stond de wieg van onze beschaving. Vanaf zo'n 3000 jaar voor onze jaartelling hanteerden de volkeren die leefden de sexagesimale getallenstelsel, gebaseerd op het cijfer 6 en het getal 60. Het getal 60 is een buitengewoon interessant getal, het heeft namelijk veel delers: 1-2-3-4-5-6-10-12-15-20-30-60.

In dit stelsel lag het voor de hand een jaar in te delen in 360 dagen (6x60). Een maand had 30 dagen (60/2) waarvan er 12 in een jaar gingen, net als de 12 tekens van de dierenriem. Een dag had 12 dag-uren en 12 nacht-uren, samen 24. De uren werden onderverdeeld in 60 minuten van 60 seconden.

De Babyloniërs verfijnden het systeem met maanden van 4 weken van 7 dagen. De dagen werden gewijd aan een hemellichaam: maandag aan de Maan, dinsdag aan Mars, woensdag aan Mercurius, donderdag aan Jupiter, vrijdag aan Venus, zaterdag aan Saturnus, Zondag aan de Zon.

De Babyloniërs, de Sumeriërs, de Chaldeeërs en de Egyptenaren, die de sexagesimale tijdsindeling hanteerden, hadden geen klokken met wijzerplaten zoals wij die kennen, trouwens ook geen microgolfovens. Hun klokwijzers waren de Maan, de sterren en de Zon. De draairichting ervan (op het noordelijk halfrond) is altijd van links naar rechts. Ook een schaduw beweegt zich in die richting.

Het is vanzelfsprekend om de klokwijzers, die vele tientallen eeuwen later een mechanische voorstelling zijn van de schaduw van de naald van een zonnewijzer, ook in die richting te laten draaien. Dus het feit dat de eerste wereldbeschaving ontstond op het noordelijk halfrond was bepalend voor de draairichting van de klokwijzers.

De nachtelijke uren, die op een zonnewijzer niet zijn af te lezen, werden op mechanische klokken voorgesteld door een tweede omtrek op dezelfde wijzerplaat.

Nu kom ik terug op de verwarring bij het leren klokkijken. Eerst was er maar één wijzer voor de uren. Door de toename van de nauwkeurigheid van de mechanische klokken in de tweede helft van de 17de eeuw, werd een tweede wijzer met bijhorende schaal voor de 60 minuten toegevoegd, over de schaalverdeling van de 12 uur. Later werd er nog eens een secondewijzer bij gemonteerd.

Bij de microgolfoven is de aanduiding van uren en minuten mooi gescheiden. Links de uren, rechts de minuten. Veel gemakkelijker!



Culturen en kalenders

Eén kalender-schema

Het lag voor de hand om de maancyclus als basis te nemen om een jaar in te delen. Die cyclus wordt bepaald door de bewegingen van het trio Maan, Aarde en Zon. Er is echter heel wat creativiteit nodig om die bewegingen in één kalender-schema te vatten.



We gaan rekenen:

1 jaar = 365, 25636 dagen
1 maanmaand = 29,5306 dagen
1 jaar = 12,37 maanmaanden

1 jaar = de tijd die de Aarde nodig heeft om éénmaal om de Zon te draaien.
1 maanmaand = de tijd die de Maan nodig heeft om van de ene nieuwe Maan tot de volgende te komen .

Deze bewegingen verlopen dus niet zo harmonisch als we zouden wensen

1 jaar kan niet ingedeeld worden in een geheel aantal dagen
1 jaar kan niet ingedeeld worden in een geheel aantal maanmaanden
1 maanmaand kan niet ingedeeld worden in een geheel aantal dagen

Maar

$365, 25636 \times 19 = 6939,87$
 $29,5306 \times 235 = 6939,69$

Bijgevolg

19 jaar = 235 maanmaanden en $235 = (12 \times 12) + (13 \times 7)$

of...

19 jaar noemt men een metonperiode
ze kan ingedeeld worden in:

- 12 jaren van 12 maanmaanden
- 7 jaren van 13 maanmaanden

Oplossingen

Met deze gegevens zagen de oude culturen zich geconfronteerd.
Iedere grote wereldcultuur heeft dan ook zijn eigen kalender bedacht.

De verschillende kalenders

Mohammedaanse kalender (622 n. Chr.)

De Mohammedanen houden enkel rekening met de dagen en de maancycli.

1 jaar = 12 maanmaanden van 29,5306 dagen
= 354,3672 dagen
= 365,25636 (=1jaar) - 10,8892 dagen

Dus het Mohammedaanse jaar is 10,89 dagen te kort om de Aarde toe te laten een volledige omwenteling om de Zon te maken. Het gevolg is dat de mohammedaanse jaren steeds 10,89 dagen opschuiven t.o.v. de seizoenen, zodat hun feestdagen telkens vroeger vallen t.o.v. de zonnecyclus.

Joodse kalender (4^{de} eeuw v. Chr.)

De Joden zijn steeds met de drie bewegingen rekening blijven houden

19 jaar = 235 maanmaanden, waarvan:
12 jaren van 12 maanmaanden
7 jaren van 13 maanmaanden

Van elke metonperiode van 19 jaar hebben
het 3de, 6de, 8ste, 11de, 14de, 17de en 19de jaar een schrikkelmaand

Chineze kalender (104 v. Chr.)

De Chinezen zijn zoals de Joden rekening blijven houden met de drie bewegingen

19 jaar = 235 maancycli, waarvan:
12 jaren van 12 maanmaanden
7 jaren van 13 maanmaanden

Wanneer valt de 13^{de} maanmaand?

Het jaar wordt verdeeld in 12 zonnemaanden van (365,25 / 12) of 30 dagen en 7/16 dag. Het beginpunt van zo'n zonnemaand heet Zhong-qi. Indien er in het jaar een maand is waarin geen Zhong-qi valt, moet er dat jaar een dertiende maanmaand worden ingelast.

2 soorten elkaar afwisselende maanmaanden

1 korte maanmaand = 29 dagen
1 lange maanmaand = 30 dagen

Dit geeft echter gemiddeld 29,5 dagen i.p.v. 29,53. Na een bepaalde tijd komt de maanmaand niet meer met de maanstand overeen. Daarom wordt er na een periode van 15 of 17 maanmaanden een korte maanmaand vervangen door een lange.

Juliaanse kalender (44 v. Chr.)

Hier hield men geen rekening meer met de Maan

1 jaar = 11 maanden met een vast aantal dagen
1 maand die om de vier jaar een dag meer telt

Gregoriaanse kalender (1582 n. Chr.)

Na duizend jaar Juliaanse kalender begon men in te zien dat Kerstmis steeds vroeger viel. Een jaar heeft niet 365,25, maar 365, 25636 dagen. Na duizend jaar was de datum 6 dagen opgeschoven t.o.v. de stand van de Zon. In 1582 bedroeg dat reeds 10 dagen. Paus Gregorius XIII besloot er wat aan te doen: in oktober werden 10 dagen overgeslagen. Zo kwam het dat men van 4 oktober 1582 naar 15 oktober 1582 sprong. De andere data, zoals 10 oktober 1582, hebben nooit bestaan. De nieuwe kalender zag zo uit:

De kalender van onze westerse wereld

1 jaar = 11 maanden met een vast aantal dagen
1 maand die om de vier jaar een dag meer telt
behalve tijdens de eeuwjaren die niet deelbaar zijn door 400

Tijdzones

Spoortijd

Toen George Stephenson in 1825 het eerste stuk spoorweg liet aanleggen tussen Stockton en Darlington zal hij ook niet geweten hebben dat de trein een mijlpaal zou betekenen in de tijdrekening.



In de tijd van Stephenson (foto) had elk dorp zijn eigen tijd, namelijk de tijd van de Zon. Zo was het in Brasschaat het eerst middag, in Kapellen was dat iets later en in Stabroek was dat nog later. Zo hadden ze in Limburg al gegeten als ze aan de zee nog moesten beginnen.

Tot dan toe was dat nog nooit een probleem geweest. Maar toen er treinen waren die soms één enkel spoor gebruikten voor twee richtingen, kon het niet meer dat twee stations een verschillend uur hanteerden. Daarom namen de spoorwegmaatschappijen de zogenaamde spoortijd aan, die later heeft geleid tot de standaardtijd.

Aan de opkomst van de telegrafie in het midden van de negentiende eeuw is te danken dat invoering van één tijd voor het gehele land mogelijk werd.

In oktober 1884 vond in Washington de International Meridian Conference plaats om tot een overeenkomst te komen betreffende de ligging van de nulmeridiaan en de wereldwijde standaardisering van de tijd. Volgens de toen aangenomen richtlijnen werd de Aarde in 24 zones verdeeld, waarbinnen een uniforme tijd werd gehanteerd, precies één uur verschillend van die in de aangrenzende zones. Elk land zou de zonetijd volgen die het best met zijn geografische ligging overeenkwam, tenzij dit minder wenselijk was omwille van redenen van economische of andere aard.

Tientallen jaren later was er van enige uniformiteit nog geen sprake. Spoorwegen, trammaatschappijen, telegrafie en grote steden, hadden alle hun eigen tijden die enkele of vele minuten van elkaar verschilden. Het omrekenen tussen de diverse gebruikte tijden moet even onpraktisch zijn geweest als het vroegere omzetten tussen de verschillende Europese munteenheden.

Tijdens de tweede wereldoorlog wordt hier de Midden Europese Tijd (M.E.T.) ingevoerd die exact een uur verschilt met Greenwich. Vanaf 1977 wordt de zomertijd ingevoerd, gelijk aan de Oost Europese Tijd (E.O.T.). Het gevolg is dat de Zon in de zomer haar hoogste punt dan pas bereikt om 14u40.

De voor ons belangrijkste tijdzones:

- West Europese Tijd (W.E.T.): de middelbare tijd van de nulmeridiaan, toen de zogenaamde G.M.T. (Greenwich Mean Time) nu de U.T. (Universal Time)
- Midden Europese Tijd (M.E.T.): de W.E.T. + 1 uur of UT + 1 uur.
- Oost Europese Tijd: (O.E.T.): de W.E.T. + 2 uur of UT + 2 uur.



Welke datum is het?

Greenwich

Tijdens de Internationale Meridiaan Conferentie van 1884 in Washington werd besloten om de meridiaan van de Engelse Koninklijk Sterrenwacht te Greenwich (foto) voortaan als nul-meridiaan aan te houden. Het gevolg is dat de datum dan verspringt op de 180 meridiaan, voornamelijk over zee. Dat was wel handig.



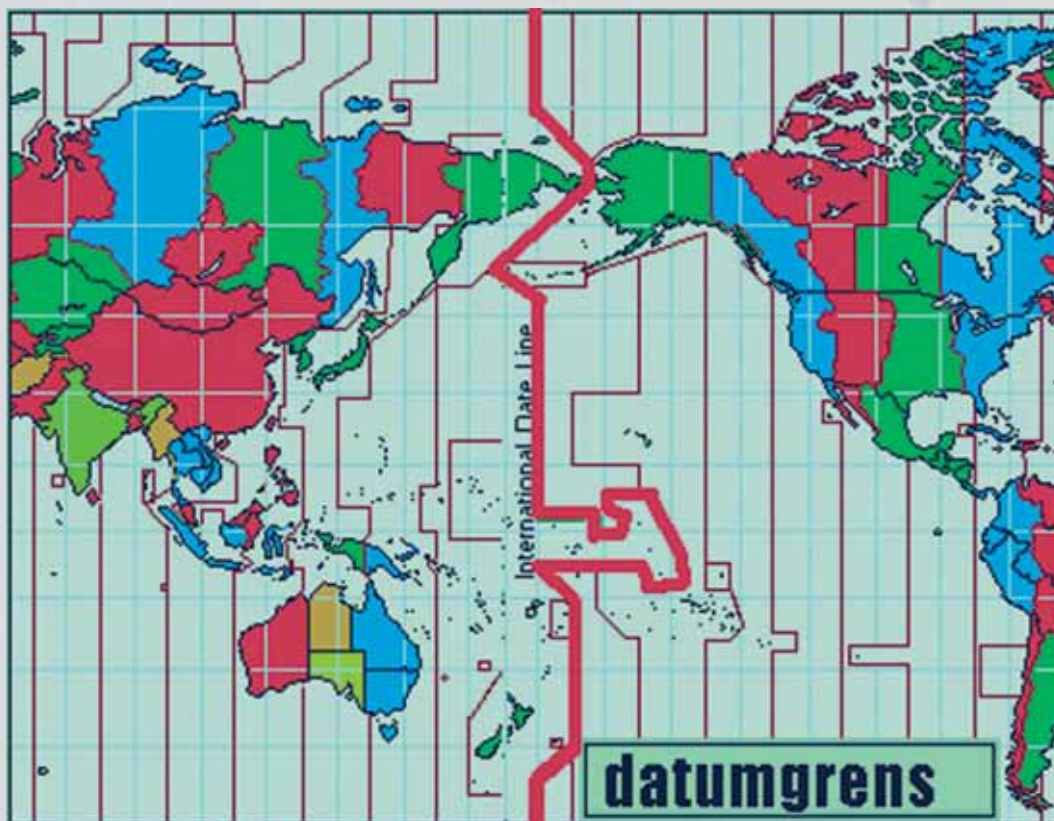
Een 19^{de} eeuwse voorstelling van Greenwich

De datumgrens liep in de eerste helft van de negentiende eeuw nog zeer grillig over de wateren van de Stille Oceaan. Dit was het gevolg van de ontdekkingsgeschiedenis van dit gebied door Europese zeevaarders. Oostwaarts varende reizigers, zoals de Portugezen en na hen de Hollanders, Fransen en Engelsen, hielden in hun reisjournalen vanzelfsprekend de dagtelling van hun vaderland aan en deze werden ook door de zich daar vestigende kolonisten aangehouden. De Spanjaarden, die via de Nieuwe Wereld de Stille Oceaan westwaarts verkenden, deden natuurlijk hetzelfde.

Vermeldenswaardig op deze tentoonstelling is een datumcomplicatie bij de verkoop van Alaska door Rusland aan de Verenigde Staten in 1867. Toen Alaska daarbij over de datumgrens sprong, zat het bovendien nog met de Juliaanse kalender i.p.v. de Gregoriaanse. Bij de verkoop versprong de datum van vrijdag 6 oktober naar vrijdag 18 oktober.

Sindsdien zijn er nog heel wat verschuivingen van de datumgrens geweest. De meest recente wijziging werd enkele jaren geleden ingevoerd door Kiribati, een dun bevolkte eilandengroep in de stille oceaan, waar 24 uur tijdsverschil was. De ene helft liep een dag voor op de andere. Hierdoor waren de officiële instanties slechts 4 dagen tegelijk bereikbaar.

Door deze wijziging verkreeg de Internationale Datumgrens, die in de loop van de tijd steeds rechter was gaan lopen, weer een grillige uitstulping naar het oosten.

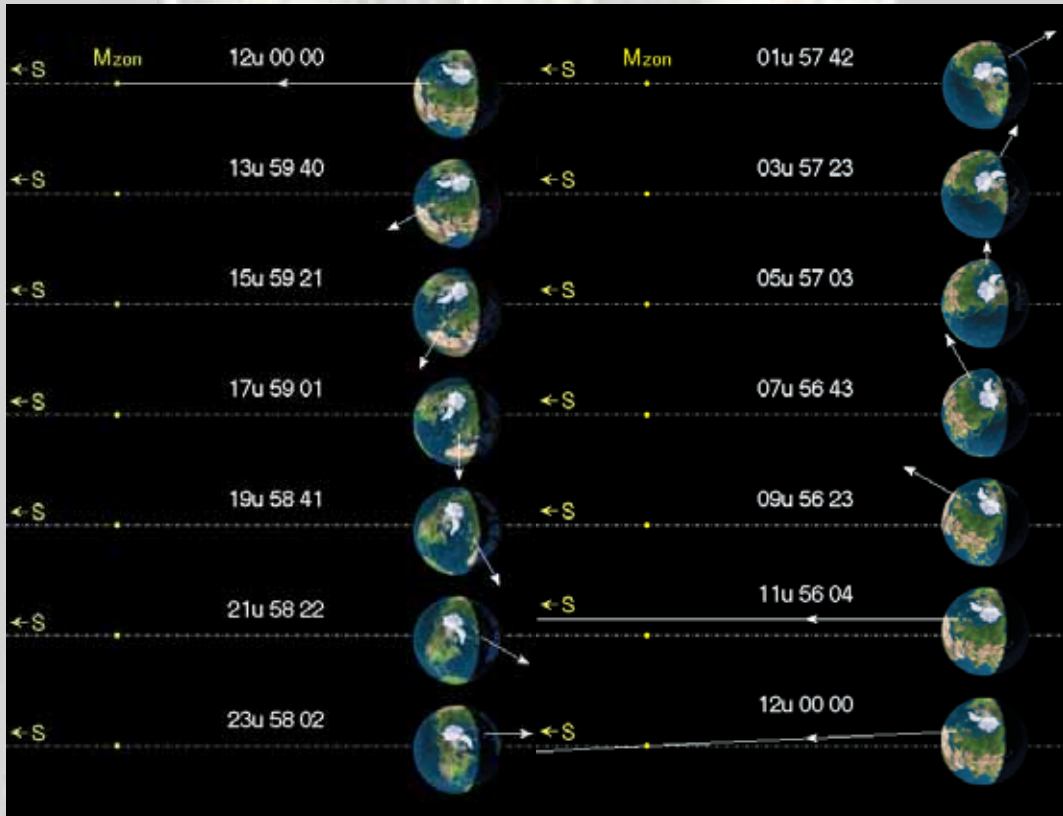


Zonnetijd

Sterrentijd

De Aarde draait om haar as in 23u. 56min. 04sec.
Een etmaal duurt 24 uur.
Waar zijn die 4 min. en 56 sec. nog voor nodig?

Hebben we niet geleerd dat een dag 24 uren duurt? Dat is juist ten opzichte van de Zon, maar niet ten opzichte van de sterren. Laat ons dit even toelichten:



In de figuur laten we de draaiende Aarde zien met intervallen van 1u 59min 40sec. Het is **zomer** en we kijken naar het noordelijk halfrond. De noordpool baadt gedurende 24u in het zonlicht. Het witte oppervlak van **Groenland** zien we als een vossenstaart rond de noordpool kwispelen. In het tweede interval, om 13u 59 40, slaat hij zijn staart juist naar links.

De **witte pijl** duidt aan in welke richting we vanuit België in de ruimte kijken. In de eerste figuur, om 12u 00 00, kijken we van bij ons juist naar de Zon (**Mzon** is het middelpunt van de Zon). De **ster S** staat dan juist achter de Zon, maar op een **oneindige** afstand.

Maar opgelet, terwijl de Aarde om haar as draait schuift ze stilletjes aan verder in haar baan om de Zon. Op de figuur staat de Aarde dan ook telkens iets hoger getekend en na 23u 56min 04sec komen we om **11u 56 04** in de situatie van de **voorlaatste figuur** terecht. We kijken nu vanuit ons land opnieuw naar de ster S, maar niet meer recht naar de Zon, omdat de Aarde nu 1/365^{ste} deel van haar baan om de Zon heeft afgelegd. Ten opzichte van de ster heeft de Aarde nu juist 1 toer gemaakt.

Om vanaf dezelfde plaats opnieuw recht naar de Zon te kijken, moet de Aarde nog 3min 56sec verder draaien. Zo komen we in de configuratie van de laatste figuur. Om 12u 00 00, na juist 24 uren draaien, kijken we opnieuw recht op de Zon, maar naast de ster. De ster is verschoven ten opzichte van de Zon, zoals alle andere sterren.

Zo verschuift het hele hemellandschap elke dag 3min 56sec van Oost naar West ten opzichte van de Zon.

Elke dag komen de sterren 3 minuten en 56 seconden vroeger op
Elke dag gaan de sterren 3 minuten en 56 seconden vroeger onder



Siderisch schema

Van het hierboven omschreven dagelijkse tijdsverschil in het hemellandschap werd dankbaar gebruikt gemaakt. De hier afgebeelde Engelse klokkenmaker John Harrison (1693 - 1776) bijvoorbeeld, controleerde er de correcte werking van zijn precisieklokken mee. Hij kon dit dagelijkse tijdsverschil waarnemen met een zelfgemaakt astronomisch waarnemingsinstrument, bestaande uit het dradenkruis van een vensterruit en het silhouet van de schoorsteenpijp van de buurman. Nacht in nacht uit noteerde hij het tijdstip waarop gegeven sterren achter de schoorsteen verdwenen. Op zijn klok moest een ster iedere nacht precies drie minuten en zesenvijftig seconden eerder verdwijnen dan de nacht ervoor.

Elke klok, die dit siderische schema kon volgen, evenaarde de klok van het hemellandschap zelf.

De mechanische tijd

Tijdmeter

Terwijl de mechanismen in het hemellandschap een eeuwigdurende tijdmeter vormen, is een mechanische tijdmeter van groot nut om die bewegingen te begrijpen.

Wanneer voor het eerst een volledig mechanisch aangedreven uurwerk werd gebouwd is niet geweten. Het zou zich ergens in het begin van de veertiende eeuw situeren. Toch kunnen we hier vermelden dat het oudste instrument met een wijzerplaat en tandwielen werd gevonden in een antiek Grieks schip. Het zou dateren van de eerste eeuw voor Christus.

In de tijd van de astronoom Galileo Galilei (1564 - 1642, foto) bestonden er dus al mechanische klokken, maar die liepen helemaal niet gelijk. Voor zijn hemelwaarnemingen hadden zij weinig nut. In zijn zoektocht naar een nauwkeurige regelaar voor die klokken, ontdekte Galileo Galilei de eigenschappen van de slingerbeweging:



De tijd waarin een aan een draad opgehangen lichaam heen en weer beweegt, hangt uitsluitend af van de lengte van de draad.

Hij bedacht zelfs een systeem om een slinger mechanisch in beweging te houden, maar slaagde niet in de praktische uitvoering ervan.

De eerste echte slingerklok dateert van 1657. Zij werd bedacht door Christiaan Huygens, zonder dat hij van het geknutsel van Galilei op de hoogte was. De praktische uitvoering lag in handen van Salomon Coster, een Haagse klokkenmaker die vier van die slingerklokken (foto) bouwde.

De toepassing van de slinger betekende een revolutie in de uurwerkmakerij. Elke klok die ermee was uitgerust kon “op tijd” lopen, ongeacht de kwaliteit of conditie van het raderwerk. Het was dus veel eenvoudiger (en dus goedkoper) om een goed lopende klok te maken, waardoor de productie ervan toenam.

Daarmee waren de tijdproblemen niet opgelost. Men kon vaststellen dat de mechanische uren van een klok niet overeen kwamen met de schaduw van een zonnewijzer. In de winter had de Zon twintig seconden minder nodig dan 24 mechanische uren om haar plaats in het zuiden terug in te nemen. In de zomer was dat tien seconden langer. Op zich niet erg, maar als dat elke dag zo is, dan zit men in de winter na twee maanden met een verschil van 15 minuten.

Wat was nu de juiste tijd?

In de 18^{de} eeuw werden de klokken nog steeds gelijkgezet met de tijd van een zonnewijzer. Iedere kerktoeren had er een, die de plaatselijke tijd aangaf. Zelfs nauwkeurige klokken werden daarmee bijgesteld, wat in de tweede helft van de achttiende eeuw heel wat discussie teweeg bracht.

Aan het einde van die 18^{de} eeuw maakten verfijnde, nauwkeurige klokken het voor een eerste keer mogelijk om de officiële tijd los te koppelen van de hemelbewegingen. De primeur was voor Genève die de middelbare tijd rond 1780 invoerde. Daarna volgden de andere Europese steden. Van een uniforme tijd of tijdzones was nog geen sprake: iedere stad had nog zijn eigen tijd.

Maten en meten

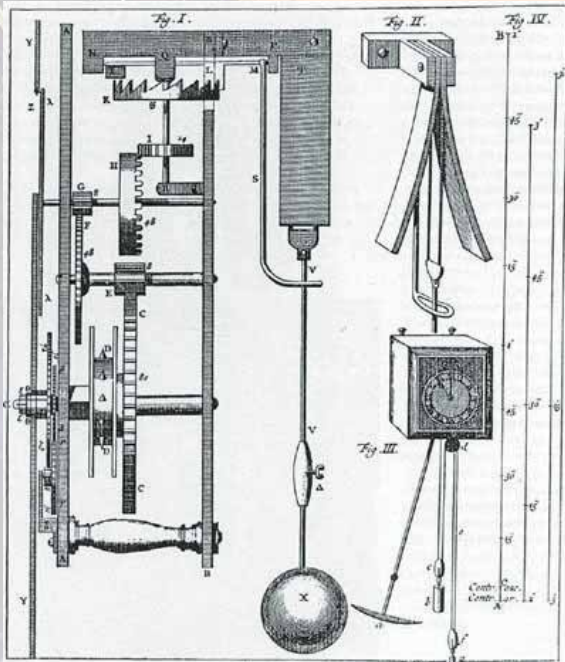
De meter

De zoektocht naar nauwkeurige tijdmeting en tijdseenheid was ook de voedingsbodem voor het ontstaan van de *meter* als lengtemaat.

Veel oude lengte-eenheden vinden hun oorsprong in de meetkunde van de menselijke lichaamsdelen. We kenden de *el* (het topje van de middelvinger tot de elleboog). De *palm*, dat zijn 4 vingers (10cm), en de *span*, die de afstand is tussen de topjes van de duim en de pink bij gespreide vingers. De *duim* spreekt voor zich. De slingerlengte bij Franse pendules werd uitgedrukt in Franse duim.

De *mijl* komt overeen met 1000 stappen van een Romeinse soldaat en de middeleeuwse *yard* was de afstand van het puntje van de neus van Henry I tot de punt van zijn middelvinger bij uitgestrekte arm!

Rond 1600 zijn er in de Lage Landen maar liefst 55 verschillende voetmaten in omloop. Handel, techniek en wetenschap hadden behoefte aan een universele en goed vergelijkbare lengtestandaard.



Bij zijn experimenten met slingerklokken (figuur) denkt Christiaan Huygens een nieuwe standaard te hebben gevonden die hij "*Meter*" noemt. Hij neemt als uitgangspunt de lengte van een slinger met een slingertijd van precies 1 seconde.

Helaas hangt die slingerlengte af van de zwaartekracht. Op de evenaar is er bijvoorbeeld minder zwaartekracht, de secondeslinger is er korter en een *meter* zou dat dan ook zijn!

Uiteindelijk is de Meter pas in 1983 nauwkeurig bepaald als de afstand die het licht in het luchtledige aflegt in 1/299792458e seconde.

Daarmee zijn de problemen echter niet opgelost. De veelbelovende satelliet Mars Climate Orbiter sloeg in 1999 te pletter op Mars door een verwarring tussen *inches* en *centimeters*. Onbegrijpelijk, nadat we al 250 jaar eerder een einde probeerden te maken aan het meten met ledematen!

Positiebepaling

Hemellandschap

Positiebepaling. Wat heeft dat in 's hemelsnaam met het hemellandschap te maken? Wel, heel veel! Het zijn juist de verschillen in het hemellandschap die de plaats van een waarnemer bepalen.

Hiervoor moeten we weten

Een plaats op Aarde wordt bepaald door haar breedte en haar lengte.

Het bepalen van de breedtegraad (de noord-zuidrichting) gaat gemakkelijk. Je kijkt hiervoor naar de Poolster, die altijd in het verlengde van de aard-as staat. De hoogte van de Poolster boven de horizon komt overeen met de breedtegraad waar je je bevindt.

De lengtegraad (oost-westrichting) daarentegen is heel wat moeilijker te bepalen. Daarvoor heb je de juiste tijd nodig, want ieder uur verschuift de Zon 15° naar het westen ($360^\circ / 24 = 15^\circ$). Hoe bepaal je dan je lengtegraad?

Stel, je vertrekt met een bootje uit een haven en je hebt daar je horloge op 12 uur gezet toen de Zon op haar hoogste punt in het zuiden stond. Een paar dagen later zit je ergens op de oceaan. In je bootje zie je de Zon in het zuiden weer door haar hoogste punt gaan. Je kijkt op je horloge dat nu geen 12 uur aanwijst. Het tijdsverschil in uren $\times 15^\circ$ is het aantal lengtegraden dat je ten oosten of ten westen van je vertrekhaven bent!

Ook bij de cartografie is het kennen van de juiste tijd noodzakelijk. Eén van de eerste cartografen was de wiskundige Klaudios Ptolemaios (ca 100-170 n. Chr.). Hij leefde in Alexandrië. Zijn wereldkaart gaat van de Canarische Eilanden tot het oosten van Azië. Hij had geen tijdmeters of radiosignaal, zodat hij het aantal lengtegraden tussen verschillende locaties, alleen maar kon schatten. Zijn oost-westafstanden over de Middellandse zee, Azië en Ceylon zijn daardoor sterk overdreven.

Dat had gevolgen in de Renaissance (15de en 16de eeuw), een tijd waarin er een levendige belangstelling was voor alles wat uit de Klassieke Oudheid afkomstig was. De grote cartograaf Gerard Mercator baseerde zich in 1578 op de werken van Ptolemaios en nam de foute lengtegraden over.



In die periode kwam de wereldbekende zeevaarder Columbus op de gedachte om de oceaan over te steken om zo vanuit Europa naar India te varen. Niemand wist hoe onrealistisch de afstanden op de toen bekende wereldkaarten waren ingetekend. Hij vertrok met drie schepen vanuit de haven van het Spaanse Palos, via de Canarische eilanden naar het westen. Tijdens zijn reis hield hij de nachtelijke poolster op 30° boven de horizon en behield zo min of meer zijn westelijke koers op dezelfde breedtegraad. Hij had geen klok met plaatselijke tijd van Palos en wist dus ook niet hoe ver zijn reis vorderde. Opvallend was wel dat hij de uitslagen van zijn positiebepalingen flatteerde om de stemming aan boord niet te bederven. In oktober 1542, toen hij voet aan wal zette op de Midden-Amerikaanse Bahamas, dacht bij dat hij in India was.

Overboord

Om je positie bepalen op zee, dan moest je dus over een instrument beschikken dat de tijd van de vertrekhaven kon bijhouden. Een fout van 4min kon al een verschil geven van meer dan 100km. De nauwkeurige slingerklok die Christiaan Huygens in 1657 bedacht, bood geen oplossing. Het enige wat men op een slingerende zee kon doen was de slingerklok over boord slingeren!

De Engelsman John Harrison maakte er zijn levenswerk van om een nauwkeurige tijdmeteter voor zeenavigatie te bouwen. In 1759 vertoonde zijn vierde exemplaar (de H-4), na een zeereis van 81 dagen, een afwijking van slechts 5 seconden (foto). Hij won hiermee de prijs van 20.000 Pond, die was beloofd door de Royal Society aan degene die een methode bedacht om op zee de lengtepositie te bepalen met een precisie van een halve graad.

In onze elektronische tijd biedt het hemellandschap nu navigatiesatellieten ter vervanging van Zon, sterren en klokken. Dit navigatiesysteem is gebaseerd op een wereld omspannend stelsel van satellieten, welke via een radiosignaal hun gegevens en de exacte tijd uitzenden. Een GPS ontvanger op Aarde vergelijkt de signalen van verschillende satellieten. Door middel van wiskundige vergelijkingen wordt zo de positie berekend, tot op enkele meters nauwkeurig.



De hemelklok

Een perfecte klok met vier wijzers!

Galileo Galilei richtte als één van de eersten een telescoop op het hemel-landschap. In 1609 ontdekte hij vanaf zijn balkon in Padua de vier manen van Jupiter. Hij noemde hen de sterren van de 'Medici: Io, Europa, Ganymedes en Callisto.

Na langdurige observaties berekende hij de omlooperperioden van deze manen en telde het aantal keren dat de kleine hemellichamen achter Jupiter verdwenen. Hij stelde vast dat dit per jaar wel duizendmaal voorkwam en dit met een grote regelmaat. De perfecte hemelklok!



Galileo gebruikte zijn observaties om tabellen te maken van de te verwachten verdwijning en verschijning van elke maan, die bekend staan als de efemeriden. Hij gebruikte daarbij de hier afgebeelde telescoop.

In zijn tijd was een correcte navigatie op zee bijna onmogelijk, omdat men op een schip nog niet over de noodzakelijke juiste tijd kon beschikken. Hij dacht dat zijn tabellen een doorbraak konden betekenen.

Galileo ontwierp zelfs een speciale waarnemingshelm, de Celatone. De helm leek op een koperen gasmasker met twee kijkgaten. Door het lege kijkgat kon je met het blote oog Jupiter aan de hemel opsporen. Door een telescoop, die aan het tweede kijkgat was bevestigd, kon je met je andere oog naar de manen kijken. Het toestel bleek echter nogal onbruikbaar. Zelfs op land veroorzaakte je hartslag al voldoende beweging om Jupiter uit je blikveld te doen verdwijnen! Het waarnemen op een bewegend schip bleek onmogelijk.

Galileo's methode om lengteposities te vinden werd uiteindelijk wel algemeen geaccepteerd na 1642 - maar alleen te land, met stabiele kijkers. Cartografen gebruikten zijn tabellen om de wereld te hertekenen.

Kijk zelf maar eens met een gewone verrekijker naar Jupiter. Dan zie je de vier manen hun baantjes trekken.



De lichtjes van de Schelde

Maan

De maanbeweging is niet in het stramen van kalenderjaren en maanden te vatten: één jaar = 12,37 maanmaanden van 29,5306 dagen! Daarom weet u wellicht niet welke Maan het vandaag is.



Toch speelt de beweging van de Maan in onze moderne tijd een rol! De tijdstippen van belangrijke militaire acties, zoals D-day en het begin van de eerste Golfoorlog, werden bepaald door een gunstig nachtelijk maanschijnsel.

Belangrijker, en door iedereen gekend, zijn de dagelijkse getijdenbewegingen, bepaald door de beweging van de Maan. Hoe gaat dat in zijn werk?

De aantrekkingskracht van de Maan veroorzaakt een vloedgolf aan de naar haar toegekeerde kant van de aarde. Een soortgelijke vloedgolf ontstaat aan de tegenoverstaande zijde van de aarde, waar die aantrekkingskracht het kleinst is. Ook de Zon trekt het water van de oceanen aan, maar in geringere mate dan de Maan, omdat ze veel verder weg is. Per etmaal is er tweemaal vloed, nl. bij de hoogste en laagste stand van de Maan. Ertussenin, tweemaal eb.

Vanouds bepalen de getijden de mogelijkheden van scheepvaartbewegingen in de vaargeulen *van* en *naar* havensteden zoals Antwerpen en Amsterdam. Zo sturen de getijden, en eigenlijk dus de Maan, het levensritme in en rond de haven. Op de wijzerplaat van klokken uit havensteden staat daarom meestal de maanfase aangegeven. Het juiste uur van hoogwater in Amsterdam staat op de afgebeelde wijzerplaat van een klok van Rutger Steuter, zelfs in een apart kadertje aangegeven.

