

Over hoe de tijd bepaald wordt



Dat de regelmatige opeenvolging van dagen en nachten, bepaald door het opkomen en ondergaan van de zon, ons hele levensritme bepaalt zal wel niemand ontgaan zijn. Het is net alsof de zon in een wijde baan om de aarde cirkelt en daardoor dag en nacht doet ontstaan. We weten wel dat het de aarde zelf is die om haar as wentelt, maar omdat we dat niet rechtstreeks voelen, *lijkt* het alsof het de zon is die om de aarde wentelt.

De ononderbroken regelmaat waarmee dit gebeurt, doet bij ieder van ons dat gevoel ontstaan van tijd, die altijddurende stroom van ... , ja van wat eigenlijk ? In een eerste opwelling zou ik zeker schrijven : een stroom van gebeurtenissen. Maar een kritisch denkend lezer zou zeker repliceren dat de tijd misschien ook wel gewoon verder blijft lopen ook als er helemaal niets gebeurt. Misschien. In elk geval was Augustinus zo'n kritisch iemand die op het einde van de 4^{de} eeuw zich reeds het hoofd brak over deze vraag. In zijn Belijdenissen vraagt hij aan God wat Hij dan wel deed in al die eeuwen vóór Hij de wereld schiep. Maar iets verder verontschuldigt hij zich voor zijn vermetelheid : " ... want nu begrijp ik het, er was geen tijd daarvoor, die eeuwen hebben niet bestaan !". Ook al kon Augustinus dus geen definitie geven van tijd, toch zag hij in dat tijd op zich niet hoeft te bestaan als er geen gebeurtenissen in plaatsvinden ! Een zeer modern inzicht. Maar uiteindelijk besefte Augustinus dat hij niet wist wat tijd nu eigenlijk was.

In de 17^{de} eeuw was er nog steeds geen antwoord, toen Newton een belangrijke poging ondernam. Volgens hem was tijd in elk geval *universeel*, *objectief* en *absoluut*. Universeel betekent dat alles wat bestaat aan de tijd onderworpen is, zich ergens in de tijd bevindt, en eventueel in de tijd evolueert. Het is onmogelijk je *buiten* de tijd te begeven. Met objectief wil hij zeggen dat de tijd niet beïnvloed wordt door onze indrukken en belevenissen of onze gedachten erover. Verder wordt de tijd ook niet beïnvloed door de gebeurtenissen die in de tijd plaats vinden; leg alles stil en maak de ruimte leeg, de tijd blijft onverstoord verder gaan. Dat bedoelde hij dan met het absolute karakter van de tijd.

Newton's ideeën over tijd en ruimte kaderden in een reeks nieuwe inzichten die de grondslagen werden van een nooit geziene revolutie in het wetenschappelijke en filosofische denken. Maar hebben we nu een antwoord op onze vraag ? Weten we nu eindelijk wat tijd is ? Neen toch ! Als ik dan daar bovenop verneem dat in het begin van de 20^{ste} eeuw Einstein het absolute karakter van de tijd op de helling zet en Heisenberg de objectiviteit, dan begin ik Augustinus' wanhoop te begrijpen : "Zolang ik erover zwijg, meen ik het te weten, maar zodra ik het wil uitleggen weet ik het niet meer".

Het is duidelijk dat de meeste mensen niet wakker liggen van dit probleem. Op alle openbare plaatsen, aan nagenoeg elke pols, op elk bureau vind je wel een of andere vorm van uurwerk. Om het uur geven de radiozenders de 'juiste' tijd op. We leven van seconde in seconde, volgens vooraf gemaakte tijdschema's die we dan nog stipt opvolgen ook. We worden zelfs betaald per uur of per maand. Tijd is geld ?!

Was dat laatste dan uiteindelijk de definitie ? Natuurlijk niet ! Maar het is duidelijk dat we de juiste definitie van de tijd niet hoeven te kennen, om er mee om te gaan, al of niet zinvol. We hebben er blijkbaar iets op gevonden. Wat precies, wordt in wat volgt uitgediept.

Onderwerpen

- I. Een eenheid voor tijd
 - II. Het meten van de tijd
 - III. Mechanische uurwerken
 - IV. Middelbare en ware zonnetijd (*MZT* en *WZT*)
 - V. Universele Tijd of Wereldtijd (*UT*)
 - VI. Efemeridetijd (*ET*) en Terrestrial Time (*TT*)
 - VII. Coordinated Universal Time (*UTC*)
 - VIII. Geocentric and Barycentric Coordinated Time (*TCG* en *TCB*)
 - IX. De datumlijn
 - X. Het lengen en korten van de dagen
- Opmerkingen

I. Een eenheid voor tijd

De meest vanzelfsprekende methode voor het uitdrukken van de duur van een zeker gebeuren is het tellen van de dagen. Reeds de allereerste mensen deden dat : de dag was zonder twijfel de eerste eenheid van tijd¹.

Duren alle dagen dan even lang ? Wat betekent een uitspraak als “het oogstfeest duurde dit jaar 3 dagen, net als vorig jaar” ? Dat beide feesten evenlang duurden ? Zonder enige vorm van technologie was het tot niet zo lang geleden zo goed als onmogelijk daar ook maar iets zinnigs over te zeggen. Maar als de dagen dan al niet even lang zijn, dan was daar toch niets van te merken, en tot nader order bleef men dan maar de dagen tellen. Tot op vandaag eigenlijk ! Wat is onze kalender anders dan het tellen van dagen, maanden en jaren.

Voor grotere perioden telden onze voorouders het aantal **manen**. Eén maan is de tijd tussen twee opeenvolgende tijdstippen van Nieuwe Maan² (iets meer dan 29 dagen). Ons begrip **maand** is daaruit ontstaan. Voor landbouwvolken was het bovendien belangrijk bepaalde seizoengebonden activiteiten te plannen. Dit leidde dan weer tot het begrip **jaar**. Dat was reeds ver in de prehistorie bekend als een periode van iets meer dan 365 dagen.

Voor het maatschappelijk leven werd het snel belangrijk ook periodes korter dan een dag te kunnen meten. Hiervoor werd oorspronkelijk ook beroep gedaan op de zon. In onze streken en elke dag opnieuw bereikt de zon immers boven de zuidelijke horizon haar hoogste stand³ : ze **culmineert**. Dit geschiedt precies halweg tussen zonsopkomst en zonsondergang. Het gaat hier dus letterlijk om het midden van de dag : de **middag**. De tijdsduur tussen twee opeenvolgende culminaties van de zon, dus tussen twee opeenvolgende middagen, heet een **zonnedag** en wordt verdeeld in 24 even lange periodes **uren** genaamd. Elk uur word nog verder verdeeld in 60 minuten en elke minuut op zijn beurt in 60 seconden.

Waarom de astronomen uit de oudheid de dag nu precies in 24 uren hebben verdeeld en niet in 10, 20 of 30, heeft bijna zeker te maken met het feit dat het getal 24 veel delers heeft (namelijk 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 24). Daardoor kunnen een aantal belangrijke delen van een dag uitgedrukt worden in een geheel aantal uren : een halve dag komt overeen met 12 uren, het derde deel van een dag met 8 uren, het vierde deel van een dag met 6 uren en zo verder. Zo wordt om dezelfde reden een uur in 60 minuten onderverdeeld (60 heeft 12 delers), en een cirkel in 360 graden (360 heeft 24 delers). De astronomen uit de oudheid hielden met dergelijke voordelen rekening, omdat ze nog niet zo bedreven waren in het werken met gebroken getallen⁴.

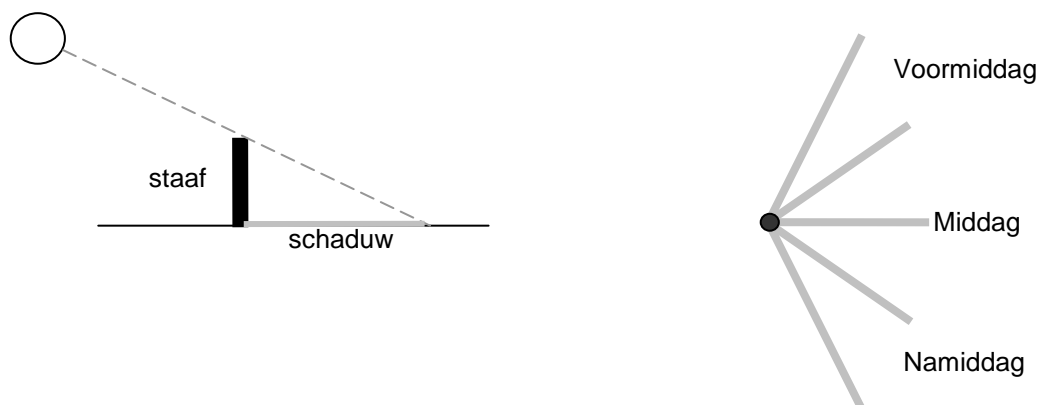
Op de middag, halweg de dag, zijn er dus reeds 12 uren van de dag verstreken. Men zegt dan dat het 12 uur is. Het is dan **middernacht** om 24 uur van de eindigende dag of 0 uur van de beginnende dag. Om middernacht eindigt de ene dag en begint de volgende : de urentelling begint terug van nul. De begrippen **voormiddag** en **namiddag** spreken voor zichzelf.

II. Het meten van de tijd

Het is nu duidelijk wat bedoeld wordt met een uitspraak als : ‘het is zeven uur’. Maar het is nog niet duidelijk hoe dat bepaald moet worden, hoe dat gemeten moet worden. Zonder twijfel was het allereerste ‘uurwerk’ een **zonnewijzer**. Dat is in zijn eenvoudigste vorm een

staaf loodrecht in de grond geplant, die door het zonlicht een schaduw afwerpt. Door de dagelijkse schijnbare beweging van de zon verplaatst die schaduw zich in de loop van de dag. Op de middag als de zon precies boven het Zuiden staat, wijst de schaduw even precies naar het Noorden⁵. Het is dus geen probleem te weten wanneer het middag is, vermits de windrichtingen heel precies gekend zijn. Ze kunnen immers bepaald worden, zonder op de zon beroep te doen⁶. Moeilijker is het voor andere momenten van de dag. De staafschaduw verplaatst zich namelijk niet de hele dag even snel : rond de middag sneller dan op andere momenten. 's Morgens en 's avonds verandert dan weer vooral de lengte en veel minder de richting. De beweging van de schaduw vertraagt naarmate de schaduw zelf langer wordt.

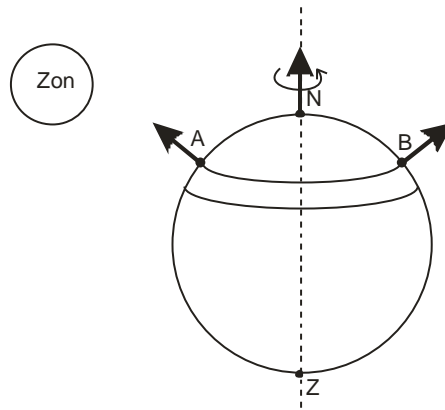
De zon komt op aan de oostelijke horizon. Op dat ogenblik werpt de staaf een lange schaduw af naar het tegenover liggende punt van de horizon. Ze klimt een hele tijd op aan de hemel en beweegt zich tegelijkertijd zuidwaarts. Dat klimmen van de zon leidt in het begin vooral tot het verkorten van de staafschaduw. Geleidelijk aan neemt het klimmen van de zon af en neemt de trek naar het zuiden toe. Hierdoor vermindert het inkorten van de schaduw en gaat deze vooral van richting veranderen, naar het Noorden toe. Op de middag bereikt de zon haar hoogste stand. Het klimmen stopt en haar beweging geschiedt nu ongeveer parallel met de horizon. De staafschaduw wijst naar het Noorden, is dan het kortst, en verschuift het snelst. In de loop van de namiddag trekt de zon verder naar de westelijke horizon terwijl haar hoogte steeds sneller afneemt. De staafschaduw wordt langer en verschuift trager.



Figuur 1 : Lengte en richting van de staafschaduw als tijdsaanduiding.
Links een zij-aanzicht. Rechts een bovenaanzicht.

Om de zaken eenvoudig te houden, trekken we in gedachten naar de Noordpool. Vanzelfsprekend in de zomer. In de herfst en in de winter is er immers geen zon te bespeuren op de Noordpool, zodat we er in die periode zeker geen zonnewijzers moeten gaan bouwen. Waarom dat in de zomer wel zin heeft, moet even uitgelegd worden.

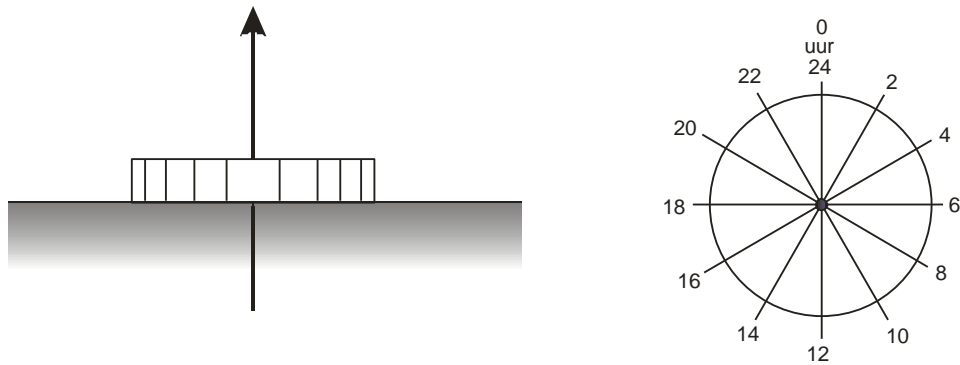
De schijnbare dagelijkse beweging van de zon om de aarde is een gevolg van de aswenteling van de aarde. Deze wentelt immers als een tol om een as waarvan de snijpunten met het aardoppervlak per definitie de Noordpool en de Zuidpool zijn. Planten we op de Noordpool onze staaf loodrecht in de grond dan valt deze staaf precies samen met de wentelingsas van de aarde (fig.1).



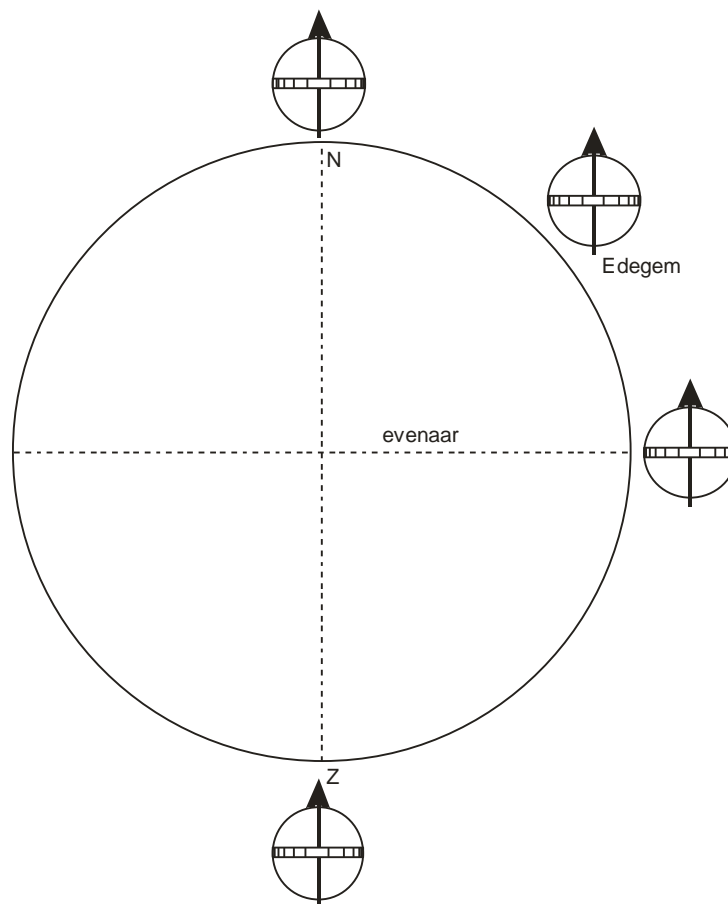
Figuur 2 : Alleen op een van de polen valt de stijl van de zonnwijzer samen met de aardas.

Op onze geografische breedte, bijvoorbeeld in Edegem, zou een dergelijke staaf zich op een bepaald ogenblik in stand A bevinden en 12 uur later in stand B. Vermits op de noordpool de zon de hele lente en zomer niet ondergaat kunnen we dus dagen na elkaar de staafschaduw volgen. Anders dan in Edegem beweegt die zich nu wel schijnbaar maar eenparig rond de staaf. Bekijken we de zaak van op een afstand, dan zien we dat die staafschaduw eigenlijk een vaste stand inneemt in de ruimte. Het is immers de aarde die door de schaduw heen wentelt, terwijl de zon zich op haar vaste plaats in de ruimte bevindt, waardoor ook die staafschaduw een vaste ruimtelijke ligging heeft. Een waarnemer wentelt echter met de aarde mee en ziet de schaduw daardoor (schijnbaar) verschuiven over het aardoppervlak in de andere zin. Deze verschuiving is op de pool zeer regelmatig; even regelmatig als de aardrotatie zelf. Net als de aarde gaat de schaduw eenmaal rond in 24 uur. Ook al zal in de loop van de zomer deze schaduw langer worden doordat de zon lager en lager zakt (en na 23 september zelfs onder de horizon verdwijnt tot 21 maart), de regelmaat van de aardrotatie wordt hierdoor niet verstoord.

We kunnen nu op de grond tekens aanbrengen om een volwaardig uurwerk uit te bouwen. Dit wordt voorgesteld in figuur 3. We kiezen een willekeurige richting voor 0 uur (er is geen noorden, westen, zuiden of oosten op de Noordpool !) en verdelen verder in 24 gelijke sectoren. We leggen een ring rond de staaf zodanig dat die staaf precies door het middelpunt van die ring gaat en er loodrecht op staat. De uurverdeling op de grond kan dan op de ring overgebracht worden. Staaf en ring worden tenslotte tot een vast geheel gesmeed, waardoor in principe het toestel ontstaat dat als zonnwijzer in de Dodoenstuin te Schilde of voor het stadhuis van Mortsel te vinden is. De staaf wordt gewoonlijk de **stijl** of **pijl** van de zonnwijzer genoemd. De ring met de uuraanduidingen heet **uurcirkel**. Deze uurcirkel stelt bij juiste opstelling van de zonnwijzer meteen de hemelequator voor. Alle andere eventuele cirkels die nog extra aan bepaalde zonnwijzers zijn toegevoegd, stellen meestal enkele astronomische cirkels aan de hemel voor zoals de horizon, de meridiaan en de ecliptica, en dienen dan meteen voor een degelijke versteviging van de constructie.



Figuur 3 : Links een vooraanzicht, rechts een bovenaanzicht van een zonnewijzer op de grond.



Figuur 4: Een juist geplaatste zonnewijzer op verschillende plaatsen op aarde.

Onze zonnewijzer moet nu nog op de gewenste plaats opgesteld worden. De vraag is of dat wel kan, vermits de stijl moest samenvallen met de aardas. Behalve op de polen kan dit nergens gerealiseerd worden. De beste benadering is een zogenaamde parallactische opstelling waarbij de stijl evenwijdig is met de aardas. De uurcirkel is dan evenwijdig met de aardequator. Door de aardrotatie beschrijft die stijl dan wel dagelijks een cirkel omheen de aardas maar blijft er steeds evenwijdig mee. Vermits de zon zich op zeer grote afstand bevindt, blijft de dagelijkse fout op de aflezing (parallax), veroorzaakt door deze beweging, kleiner dan de gewone fout op de aflezing zelf. Deze fout zou pas merkbaar zijn als de zon niet veel verder zou staan als de maan. Ze staat echter 400 keer verder dan de maan.

Een parallactisch opstelling betekent dat de stijl van de zonnwijzer naar de Poolster wijst. De Poolster ligt immers op zeer grote afstand en nagenoeg in het verlengde van de aardas. De richting ‘naar de Poolster’ is dus evenwijdig met de aardas. In Edegem maakt die stijl dan met het gemiddelde aardoppervlak een hoek van 51°. Dat is de geografische breedte van Edegem. Tenslotte moet de uurcirkel nog gedraaid worden rond de nu vaste stijl, tot op de middag, als de stijlschaduw precies naar het Noorden wijst, de zonnwijzer 12 uur aanduidt (naar het Zuiden op zuidelijk halfrond). Op de Noordpool kon dit laatste niet vermits het Noorden daar niet bepaald is⁷.

Het zonnwijzermodel dat hier beschreven werd, is een soort standaardmodel. Er zijn een hele boel varianten. Wie al eens rondloopt in de historische centra van grote steden, vindt er heel wat op de gevels van historische gebouwen. De stijl staat dan meestal loodrecht op de gevel en het is zijn schaduw op die gevel die gevolgd wordt. Dit kan natuurlijk ook, maar vraagt dan wel een veel ingewikkelder constructie van de uurschaal op de muur.

Op de evenaar ligt de standaardstijl horizontaal ! Voor elke horizontaal geplaatste staaf kan gewoon al op de grond eronder een uurschaal geconstrueerd worden. De Egyptenaren pasten dit 1500 jaar vC reeds toe.

III. Mechanische uurwerken

Met een zonnwijzer kon dus vrij snel in de geschiedenis, het tijdstip van de dag bepaald worden. Tenminste, als de zon scheen. Vooral in noordelijker streken was en is dat niet zo evident. Daarom bedacht men vervangingsinstrumenten, die op de zonnwijzers konden worden ‘gelijk gezet’ en dan bruikbaar waren als de zon niet scheen. Zo waren er **zandlopers** en **wateruurwerken** (clepsyder). Dat waren reservoirs gevuld de eerste met fijn zand de andere met water, die langzaam leeg liepen met een constant en klein debiet. De hoogte van het zand of het water in het reservoir neemt daarbij af in de loop van de dag en werd als tijdmaat gebruikt. Iets dergelijks kon ook met **olie die langzaam opbrandde**, of met de afnemende **lengte van een brandende kaars**.

Een belangrijke doorbraak was de uitvinding van de **slingerklok**. Steunend op de nieuwe theorieën van Newton (1643-1727) werd aangetoond dat de periode van een slinger (de duur van één keer heen en weer) voor een gegeven plaats op aarde enkel afhangt van de lengte van die slinger. Dat was ook Huygens opgevallen die op basis van dat idee de slingerklok uitvond. Tijdsduur werd daarbij in principe uitgedrukt als een aantal periodes van de slinger, dat dan met een relatief ingewikkeld raderwerk omgezet wordt naar uren, minuten en seconden. Zodra de nadelige invloed van eventuele temperatuurschommelingen⁸ kon geëlimineerd worden, werden slingerklokken de basisinstrumenten voor het bepalen van de tijd. Tot laat in de 20^{ste} eeuw was er in elke zich respecterende sterrenwacht een uurdienst gesteund op een slingerklok.

Het gebruik van de slingerklokken leidde wel tot een probleem. Zonnwijzers en slingerklokken geven niet dezelfde tijd. Volgens een jaarlijks terugkerend patroon is er een verschil tussen beide dat kan oplopen tot 16 minuten, waarbij om beurt de ene voor- of achterloopt t.o.v. de andere. Waar in de oudheid dergelijke verschillen tussen de zonnwijzer en de ‘mechanische’ uurwerken steeds te wijten waren aan de onnauwkeurigheid van de uurwerken, werd dat in de 18^{de} eeuw duidelijk anders. De afwijkingen konden niet meer aan de uurwerken zelf geweten worden.

Men zat in de 18^{de} eeuw dus met een zeer merkwaardige vraag. Welke van beide klokken geeft de juiste tijd ? Of voorzichtiger gesteld : welke geeft de beste benadering van de tenslotte nog altijd niet gekende ‘juiste tijd’ ?

Men heeft vanzelfsprekend een keuze gemaakt, die het best overeenkwam met de bestaande wetenschappelijke inzichten⁹ van die tijd. Een keuze van de zonnwijzer als de betere klok zou Kepler’s wetten en dus ook Newton’s gravitatietheorie in gevaar brengen. Volgens deze is de periode van een slinger voor een gegeven plaats op aarde enkel afhankelijk van de lengte van de slinger, en dus constant ! Blijkt deze conclusie van Newton’s theorie fout te zijn, dan is Newton’s theorie zelf fout. Wordt echter voor het behoud van Newton’s wetten gekozen, en dus voor de slingerklok als de betere klok, dan moet weer verklaard worden waarom de dagen periodiek van lengte veranderen. Er waren heel wat argumenten in het voordeel van Newton, en een veranderlijke daglengte kon binnen de toen bekende inzichten perfect verklaard worden. Het lag *niet* aan de aardrotatie zelf. Die werd (voorlopig) verder als constant beschouwd. Het is de veranderlijke snelheid van de aarde langs een elliptische baan om de zon, in een vlak dat geheld is t.o.v. het equatorvlak, die een volledige verklaring levert. In deze tekst gaan we daar niet dieper op in.

De keuze van de slingerklok als standaard voor tijdsbepaling lag voor de hand. De overschakeling van slingerklokken naar uurwerken met een ‘onrust’ (dat heen en weer wiebelende wielkje aangedreven door een veer) veranderde hieraan niets. Deze iets handigere en transporteerbare mechanische uurwerken moesten regelmatig worden gesynchroniseerd met een officiële slingerklok d.m.v. bijvoorbeeld het tijdsein op de radio. Het opvolgen en onderhouden van die ‘officiële’ slingerklok was tot ver in de 20^{ste} eeuw een van de taken van de Koninklijke Sterrenwacht. Die slingerklok werd ondertussen wel vervangen door een atoomklok.

IV. Middelbare en ware zonnentijd (MZT en WZT)

De nieuwe standaard voor tijdsbepaling leidde tot de invoering van de **middelbare zonnentijd** (MZT). Dat is de tijd op een ideale, dus perfect gelijkmatig lopende klok (toen dus het best benaderd door een goed onderhouden slingerklok), die rond 1 september dezelfde tijd aanwijst als de zonnwijzer¹⁰. De tijd aangegeven door de zonnwijzer zelf heet **ware zonnentijd** (WZT).

Deze middelbare zonnentijd werd geleidelijk ingevoerd op het einde van de 18^{de} eeuw en het begin van de 19^{de} eeuw. Het verschil tussen de ware zonnentijd (aangewezen door de zonnwijzer) en de middelbare zonnentijd (aangewezen door de slingerklok) heet de **tijdsvereffening** (E) en verandert dus in de loop van het jaar. De tijdsvereffening E geeft dus de tijd die de WZT vóór loopt op de MZT.

$$WZT - MZT = E$$

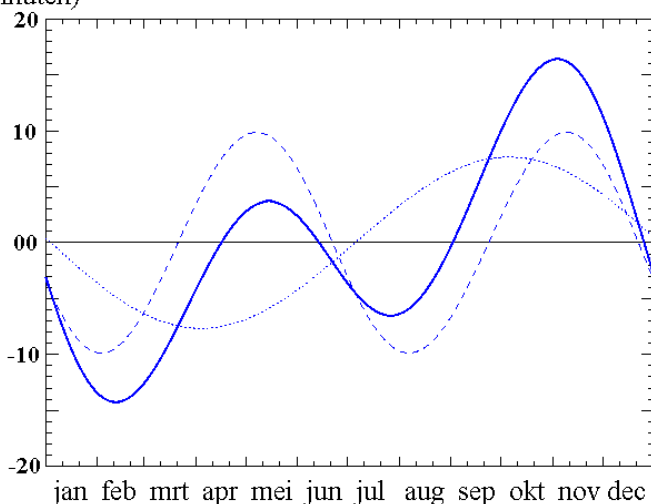
Onderstaande tabel geeft de waarde ervan om de twee weken (figuur 5). Ze worden ook nog eens grafisch voorgesteld in figuur 6.

Datum	E	Datum	E
1 jan	-3	1 jul	-4
16 jan	-10	16 jul	-6
1 feb	-14	1 aug	-6
16 feb	-14	16 aug	-4
1 maa	-12	1 sep	0
16 maa	-9	16 sep	+5
1 apr	-4	1 okt	+10
16 apr	0	16 okt	+14
1 mei	+3	1 nov	+16
16 mei	+4	16 nov	+15
1 jun	+2	1 dec	+11
16 jun	-1	16 dec	+4

Figuur 5 : De tijdsvereffening $E = WZT - MZT$ door het jaar heen.

De tabel geeft dus voor elke datum het aantal minuten dat de WZT vóór loopt (+) of achterloopt (-) op de MZT .

tijdsvereffening
(minuten)



Figuur 6 : De tijdsvereffening grafisch voorgesteld door de volle dikkere lijn. Deze is de 'grafische som' van de beide andere lijnen. De fijner stippelijijn vertegenwoordigt het voor- of achterlopen van de WZT t.o.v. de MZT als gevolg van de veranderlijke baansnelheid van de aarde. De grovere stippelijijn vertegenwoordigt het voor- of achterlopen van de WZT t.o.v. de MZT als gevolg van de helling van het equatorvlak van de aarde t.o.v. het eclipticavlak (baanvlak van de aarde).

Van half december tot half april en van half juni tot begin september loopt de MZT dus voor op de WZT . De ware middag valt dus na 12 uur middelbare tijd op de middag. Van half april tot half juni en van begin september tot half december valt de ware middag dan weer vóór 12 uur middelbare tijd.

V. Universele Tijd of Wereldtijd (UT)

Als de aarde éénmaal om haar as wentelt in 24 uur, dan is dat 360° rond in 24 uur of 15° per uur. Dat wil zeggen dat als het op een bepaald ogenblik middelbare middag is in Greenwich (geografische lengte $\lambda = 0^\circ$), het op hetzelfde moment 7h MZT is in Philadelphia ($\lambda = 75^\circ W$), 5h MZT in Denver ($\lambda = 105^\circ W$), 13 h MZT in Praag ($\lambda = 15^\circ E$) en 14 h MZT in St-Petersburg ($\lambda = 30^\circ E$).

Eén uur later is dat 13 h in Greenwich, 8h MZT is in Philadelphia, 6h in Denver, 14 h in Praag en 15 h in St-Petersburg. Voor elke 15° lengteverschil met Greenwich moet één uur

bijgeteld of afgetrokken worden : bijtellen naar het oosten toe, aftrekken naar het westen toe (verder naar het oosten is het later, of ;-)' 'in het westen loopt men achter').

Om verwarring te vermijden werken de astronomen steeds met de middelbare zonnetijd van Greenwich, zelfs als ze in Australië wonen. Deze¹¹ krijgt dan de bijzondere naam **Greenwich Mean Time**¹² (*GMT*), **wereldtijd** of **universele tijd** (*UT*).

Als de universele tijd en de geografische lengte bekend zijn, kan elke waarnemer zijn plaatselijke middelbare zonnetijd (*PMZT*) dus bepalen met

$$PMZT = UT + \lambda$$

waarin λ de geografische lengte is, uitgedrukt in *uren*. Oosterlengte wordt hier positief en westerlengte negatief geteld (ook de omgekeerde tekenconventie wordt dikwijls gebruikt!).

De geografische lengte van het KTA da Vinci in Edegem¹³ is 4°27'E of 4,45° oostelijk van Greenwich. Het is er dus $4,45/15 = 0,297$ uur = 17,8 minuten = 17m48s later dan in Greenwich.

Alhoewel in de sterrenkunde en in het lange-afstandsverkeer met de wereldtijd gewerkt wordt, is er toch heel wat bezwaar om deze heel algemeen te gaan gebruiken voor maatschappelijke doeleinden. Het verschil met de plaatselijke tijd, die gekoppeld blijft aan het dagelijkse opkomen en ondergaan van de zon, is meestal nogal groot (alhoewel in België dus slechts een kleine 18 minuten). Het is aan de andere kant uitgesloten dat elke plaatselijke overheid zijn eigen plaatselijke tijd gaat gebruiken. Dit zou het opstellen van uurschema's voor treinen en vliegtuigen onmogelijk maken.

Daarom gebruikten in een eerste fase alle plaatsen met geografische lengte tussen 7°,5W en 7°,5E de wereldtijd *UT*, de tijd die strikt genomen slechts geldt op de Greenwich-meridiaan, de centrale meridiaan van die zone, verder genoteerd als 'G-meridiaan'.

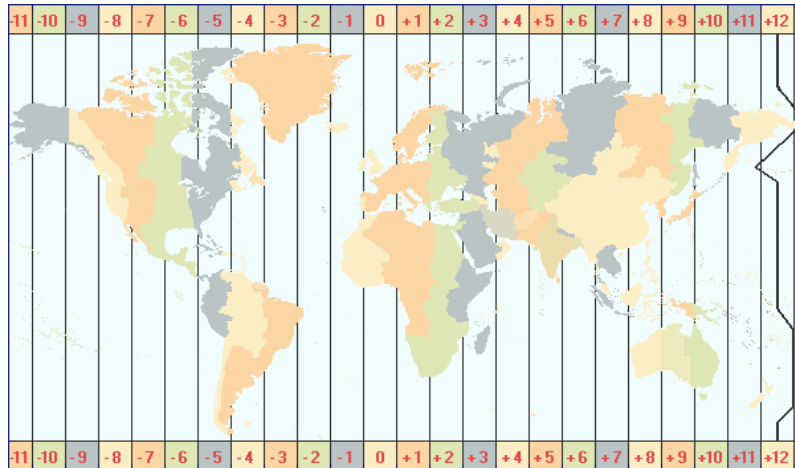
Alle plaatsen met een geografische lengte tussen 7°,5E en 22°,5E gebruiken de plaatselijke tijd voor de geografische lengte van 15°E, ook wel eens de **middeneuropese tijd** genoemd ($MET = UT + 1$).

Alle plaatsen met een geografische lengte tussen 22°,5E en 37°,5E gebruiken dan de **Oost-Europese tijd** ($OET = UT + 2$), die de exacte plaatselijke tijd is voor een geografische lengte van 30°E.

Zo verder gaande werd de aarde in 24 **tijdzones** ingedeeld. Binnen zo'n zone wordt overal de tijd gebruikt van de centrale meridiaan van die zone. Op die wijze bedraagt het officiële tijdsverschil met de universele tijd steeds een geheel aantal uren. Tussen aangrenzende zones is het tijdsverschil 1 uur.

Maar snel werd zelfs deze indeling om allerlei politieke en maatschappelijke redenen steeds minder hanteerbaar. Bijvoorbeeld België dat volgens de zojuist genoemde regeling de wereldtijd (*UT*) zou moeten gebruiken, gebruikt in de winter de *MET* en in de zomer de *OET*. Een eerste reden daarvoor was het streven naar een zuiniger energieverbruik. Als in de zomer onze klokken twee uur voorlopen op de normaal te gebruiken *UT*, dan wordt het 's avonds schijnbaar later donker (eigenlijk laat men de klokken vóór lopen, en stuurt men ons gewoon

vroeger naar bed !), zodat 's avonds de verlichting spaarzamer zou worden gebruikt. Een tweede reden is zuiver staatkundig. Het is niet handig binnen eenzelfde land verschillende tijdsregelingen te gebruiken, omdat dat land niet helemaal binnen eenzelfde tijdzone ligt. En wat vroeger een probleem kon zijn voor een land, wordt dat nu, wegens de groeiende mobiliteit, een probleem dat de staatsgrenzen ver overschrijdt.



Figuur 7 : De wereld ingedeeld in 24 tijdzones (kaart van Urania v.z.w.). Voor zomertijd moeten de opgegeven tijdsverschillen met Greenwich met één verhoogd worden. De gebroken lijn uiterst rechts van noord naar zuid is de 'Internationale Datumlijn' waarover verder in de tekst.

Voorbeeld :

Stel dat we ons in Edegem bevinden op 16 oktober om **15u wereltijd**. We zijn net terug van een wereldreis en ons uurwerk staat nog op wereltijd (*UT*). Hoe laat is het dan op al die verschillende tijdschalen ?

Op 16 oktober is in Edegem en omstreken de zomertijd nog van toepassing. Deze is in West- en Midden Europa gewoon 2 uur vóór op de wereltijd : in Edegem is het dus **17 uur Officiële Tijd** (in de winter zou dat 16 uur zijn).

Maar zoals eerder reeds werd uitgelegd, is dat sterrenkundig gezien de middelbare zonnentijd van Oost-Europa, heel precies voor de 30°E-meridiaan (30° lengteverschil geeft 30/15 uur tijdsverschil). De *Edegemse* (4°27'E = 4,45°E) middelbare zonnentijd is slechts 4,45/15 uur of ongeveer 18 minuten vóór op de wereltijd. Het is er dus ongeveer **15u18m Edegemse middelbare zonnentijd**. Het verschil tussen de Edegemse middelbare tijd en de officiële tijd in België is dus 42 minuten in de winter en 102 minuten in de zomer.

En wat zou onze zonnwijzer ons vertellen ? Die wijst ware zonnentijd aan ! De bovenstaande tabel voor de tijdsvereffening leert dat op 16 oktober de ware zonnentijd 14 minuten vóór loopt op de middelbare. Het is dus **15u32m ware zonnentijd** in Edegem.

$$\begin{aligned}
 \text{Officiële Tijd} &= UT + 1 \text{ uur} \quad (2 \text{ uur in de zomer}) \\
 MZT_{\text{Edegem}} &= UT + 18 \text{ min} = \text{Officiële Tijd} - 42 \text{ min} \quad (102 \text{ min in de zomer}) \\
 WZT_{\text{Edegem}} &= MZT_{\text{Edegem}} + E
 \end{aligned}$$

VI. Efemeridetijd (ET) en Terrestrial Time (TT)

De tijdsbepaling berustte oorspronkelijk dus op de eenparig veronderstelde aswenteling van de aarde. Ook met slingerklokken bleek dit behoorlijk met de realiteit te stroken. De *MZT* en dus ook de *UT* loopt volledig synchroon met de rotatie van de aarde. De veranderende lengte van de dagen was immers niet te wijten aan de aardrotatie maar aan de veranderlijke snelheid van de aarde in haar baan om de zon en de helling van de equator t.o.v. de ecliptica.

De betere beheersing van de tijdmeting en Newton's geniale theorieën brachten een ongekende ontwikkeling teweeg in allerlei takken van de wetenschap. Men begreep plots hoe de maan om de aarde wentelde en de planeten om de zon. Dat kon nu allemaal precies berekend worden.

En toen gebeurde het weer ! Bij het toetsen van voorspelde posities van de maan en van planeten, werden er verschillen genoteerd tussen het tijdstip waarop het beschouwde hemellichaam de voorspelde positie innam en het tijdstip waarop dat volgens Newton's theorie had moeten gebeuren. De waargenomen tijdstippen werden bepaald in *UT*, en dus met klokken die afgestemd waren op de aardrotatie. De genoteerde verschillen waren te groot om meetfouten te zijn, zodat weer moest gekozen worden voor de 'betere' klok ! Ofwel is Newton's theorie niet correct, ofwel is de aardrotatie toch niet constant. Newton's theorie stond ondertussen als een rots in de branding en weinigen hadden er moeite mee om te aanvaarden dat de aswenteling van de aarde niet langer als eenparig kon beschouwd worden. Ze vertoont periodieke schommelingen die perfect kunnen uitgelegd worden binnen Newton's theorie door massaverschuivingen gekoppeld met seizoenswisselingen. Bovendien voorspelt dezelfde theorie dat de aardrotatie op langere termijn ook systematisch zal vertragen als gevolg van getijdenwerking met de maan. De tendens is dat de aarde ooit een vaste kant naar de maan zal keren, net zoals de maan dat al doet t.o.v. de aarde.

Het is dus Newton's theorie die van af dan bepaalde hoe laat het was ! De nieuwe tijdschaal, vanaf dan bepaald (berekend !) op basis van de geobserveerde planeetbewegingen, werd de **efemeridetijd** *ET* genoemd. Een *ET*-seconde werd gedefiniëerd als het 31 556 925,9747^{ste} deel van het tropische jaar 1900.

De technologie ging echter haar eigen gang en ontwikkelde klokken die werkten met de trillingen van een atoom in plaats van met het wiebelen van een slinger. Vanuit de quantumtheorie was het immers duidelijk dat de frequentie van de straling die vrijkomt bij bepaalde energieovergangen in een atoom zeer nauwkeurig bepaald is. De duurtijd van de verschillende 'trillingen' van die straling zou beter voldoen dan wat ook aan het begrip 'even lang', en vrij snel werden er atoomklokken ontwikkeld. Zij geven de *TAI*, de 'temps atomique international'¹⁴.

Bovendien waren ondertussen ook Newton's wetten door Einstein onder vuur genomen, en in 1984 werd de efemeridetijd *ET* vervangen door de **Terrestrial Dynamic Time**, vanaf 1991 gherdefinieerd en gewoon **Terrestrial Time** genoemd. We stellen hem voor door *TT*.¹⁵ Een *TT*-seconde duurt even lang als de seconde van de atoomklok, en om op 1 jan 1984 om 0:00 uur *TAI* een vloeiende overgang te hebben van *ET* naar *TT* werd het verschil tussen *TT* en atoomtijd vastgesteld op 32,184 s : $TT = TAI + 32,184 \text{ s}$.

VII. Coordinated Universal Time (UTC)

De *TT*-tijdschaal wijkt geleidelijk meer en meer af van het dagelijkse ritme van opkomst en ondergang van de zon. Ze is immers gedefinieerd totaal onafhankelijk daarvan. Voor maatschappelijk activiteiten, toch sterk bepaald door opkomst en ondergang van de zon, bleef uiteraard de *UT* in gebruik, gesynchroniseerd dus op de gemiddelde aardrotatie. Het verschil tussen *TT* en *UT* was in januari 1986 gelijk aan 54,87 s.

Om uiteindelijk toch ook de wereldtijd *UT* op atoomklokken te refereren werd de **Coordinated Universal Time** *UTC* ingevoerd. Het is de tijd afgelezen van de atoomklok, maar gecorrigeerd met een geheel aantal seconden, zodanig dat het verschil met de originele *UT* nooit groter wordt dan 1 seconde. Om dit verschil kleiner dan 1 seconde te houden, worden zo nodig *UTC*-schrikkelseconden ingevoerd. Op die wijze wordt de *UTC*-klok regelmatig 'gelijk gezet' met de atoomklok. De laatste keer was dat op 1 januari 2006. *UTC* is dus een zo eenparige mogelijke tijdschaal, steunend op atoomklokken, die echter wel discontinuïteiten vertoont, om zo goed mogelijk overeen te komen met de *UT* zelf (met de gemiddelde aardrotatie dus). Op 1 juli 1985 was het verschil tussen *TAI* en *UTC* 23 seconden : $UTC = TAI - 23$ s. Anders dan bij *TT* is dit verschil echter niet constant.

VIII. Geocentric and Barycentric Coordinated Time (TCG en TCB)

Wie nu dacht dat met atoomklokken het verhaal ten einde is, vergist zich. Op het einde van de 19^{de} eeuw waren er met Newton's theorie toch wel problemen te ontstaan. Verschillende verschijnselen waren ermee in tegenspraak. Newton's theorieën beschreven zeer goed de 'gewone' verschijnselen, maar bleken duidelijk te kort te schieten naarmate de feitenkennis i.v.m. de macrocosmos (extreem hoge snelheden, grote massa's, galaxieën, het heelal als geheel) en de microcosmos (atomen, elementaire deeltjes, straling, enz.) toenam. Uiteindelijk ontstonden er in beide deze 'exotische' domeinen van de wetenschap nieuwe inzichten die uitgroeiden tot een totaal nieuwe theorie van de gravitatie (Einstein's relativiteitstheorieën) en tot de quantumfysica.

In de inleiding werd reeds opgemerkt dat volgens Newton de tijd o.a. absoluut zou zijn. Dat betekent dat de tijd voor alles en iedereen volgens een welbepaald ritme verloopt zonder daarbij gestoord te worden door bijzondere omstandigheden of bijzondere gebeurtenissen. Maar dat blijkt nu helemaal niet waar te zijn. Dezelfde perfecte atoomklok zou op Jupiter iets trager lopen dan op aarde, en in de buurt van de zon nog trager, en dat heeft niets te maken met technische falen of onvermogen. Volgens de nieuwe inzichten vertraagt het tijdsverloop effectief in een zwaarteveld; hoe groter de zwaartekracht des te trager verloopt de tijd. Als er geen zwaartekracht is, dan loopt de tijd het snelst. Het maakt daarbij helemaal niet uit of het hier om 'echte' zwaartekracht gaat of om 'schijnbare'. 'Echte' zwaartekracht is bijvoorbeeld de aantrekkingskracht van de aarde, de maan, de zon, Maar een waarnemer kan ook 'schijnbare' zwaartekracht ondervinden omdat hij zich bijvoorbeeld in versnelde beweging bevindt. Je lijkt een stuk zwaarder in een lift die in een opwaartse beweging bij vertrek snel optrekt (zwaartekracht neemt even toe), of een stuk lichter als ze bij aankomst snel tot stilstand komt (zwaartekracht neemt even af). En als de kabel van de lift zou breken, wordt je t.o.v. de lift gewichtloos (zwaartekracht verdwenen !). Het pijnlijke aspect van de aankomst

op de grond is te wijten aan de plotse terugkeer van de zwaartekracht (letterlijk in één klap). Gewichtloosheid (of ‘zwaartekrachtloosheid’) is gekoppeld aan het begrip ‘vrije val’.

Satellieten bewegen zich in ‘vrije val’ omheen de aarde. Een klok aan boord van een dergelijke satelliet is gewichtloos, ondervindt dus geen zwaartekracht en geeft dus een niet door zwaarte beïnvloed tijdsverloop. Hun klokken zouden dus goede referenties kunnen zijn. Ten minste voor een waarnemer die met dezelfde satelliet meebeweegt. Maar een waarnemer op aarde bevindt zich wel in een zwaarteveld, wat zijn aflezing van die klok fataal beïnvloedt. Bovendien is die satelliet in beweging t.o.v. die waarnemer en ook dat geeft in de nieuwste theorieën een vertraging van het tijdsverloop. Bovendien zijn die effecten verschillend voor verschillende satellieten omwille van de verschillende banen en snelheden. De verschillen zijn naar menselijke maatstaven wel zéér klein, maar voor nauwkeurige satellietnavigatie (GPS !), waarbij we soms tot op meters nauwkeurig willen werken, zijn ze helemaal niet verwaarloosbaar. Daarom werd in 1991 de **Geocentric Coordinate Time** (*TCG*) ingevoerd. Het is eigenlijk de Terrestrial Time *TT*, maar dan wel afgelezen op een klok die in het middelpunt (eigenlijk het zwaartepunt) van de aarde zou zijn geplaatst en met die aarde zou meebewegen in haar baan om de zon. Die klok zou even goed gewichtloos zijn. Je hoeft ze niet vast te houden. Zij blijft waar ze is, ook zonder ondersteuning. Zij kan nergens heen ‘vallen’. Die klok is net als de aarde in ‘vrije val’ omheen de zon. De term *TT* blijft dan gereserveerd voor de tijd afgelezen op een klok op het aardoppervlak. Het verschil in de aflezing tussen beide is enkel te wijten aan de vertraging van het tijdsverloop in een zwaarteveld.

De tijdschaal voor *TCG* werd gekijkt door te stellen dat op 1 januari 1977 de *TCG* gelijk is aan 0:32,184 uur op het ogenblik dat de atoomtijd *TAI* gelijk is aan 0:00. *TCG* loopt vanaf dan verder ongeveer 22 milliseconden per jaar sneller dan eenzelfde klok op het aardoppervlak, dan *TT* dus. Alle gemeten tijden moeten dus herleid worden naar *TCG*

Het is meteen duidelijk dat *TCG* gebonden is aan de aarde. Het is een tijdschaal die geschikt is voor de studie van bewegingen t.o.v. de aarde. Maar de aarde bevindt zich op haar beurt in het zwaarteveld van de zon. Voor bewegingen op schaal van het zonnestelsel is het dus op basis van een identieke redenering als voorheen aangewezen de standaardklok te plaatsen in het zwaartepunt van het zonnestelsel en met dat zwaartepunt meebewegend doorheen de interstellaire ruimte. Deze klok geeft dan de **Barycentric Coordinate Time** *TCB*. De *TCG* loopt trager dan deze *TCB*. T.o.v. de *TCB*-klok is de *TCG*-klok van de aarde immers ‘gedegradeerd’ tot een klok aan boord van een ‘satelliet’ omheen de zon. Het verschil tussen beide tijdschalen is niet constant en verandert zelfs niet eenparig, nog maar eens wegens de beweging van de aarde in een elliptische baan om de zon met veranderlijke snelheid.

Wij kunnen nu verder gaan met : “Het is meteen duidelijk dat *TCB* gebonden is aan het zonnestelsel. Het is een tijdschaal die geschikt is voor de studie van bewegingen in het zonnestelsel. Maar het zonnestelsel bevindt zich op zijn beurt in het zwaarteveld van het melkwegstelsel. Voor bewegingen op schaal van het melkwegstelsel is het op basis van een identieke redenering als voorheen aangewezen de standaardklok te plaatsen in het zwaartepunt van het melkwegstelsel en met dat zwaartepunt meebewegend doorheen de intergalactische ruimte. Deze klok geeft “

De aflezing op deze laatste klok zou Galactic Coordinate Time kunnen heten. Ze werd echter niet officieel gedefinieerd, en de vorige paragraaf dient enkel om aan te tonen, dat we hier aan het begin van een keten van mogelijke definities zitten. Want het Melkwegstelsel bevindt

zich in de Locale Groep van Melkwegstelsels, die op zijn beurt dan weer tot een Galaxieëncluster behoort, die op zijn beurt in een Supercluster zit, enz.

Loopt deze rij van verfijningen uit op een soort 'cosmische' tijd ? Het is een vraag waarop nog geen ondubbelzinnig antwoord kan gegeven worden. Maar één ding is wel duidelijk : als een cosmische tijd bestaat, dan is het een soort 'gemiddelde' of 'globale' tijd. Een unieke tijdschaal die goed is voor alles en iedereen, op alle plaatsen en in alle omstandigheden, bestaat heel zeker niet. Locale omstandigheden (zwaartekracht) kunnen 'zwaar' doorwegen op het lokale tijdsverloop.

IX. De datumlijn

Het vlak door de aardas en door Greenwich snijdt het aardoppervlak langs de meridiaancirkel van Greenwich. De aardpolen verdelen deze cirkel in twee helften. De helft die door Greenwich gaat, heet de **G-meridiaan**. De andere helft heet de **G-antimeridiaan**.

Bij conventie geldt op de hele wereld dezelfde datum als het in Greenwich middelbare middag is (12h UT). Als het in Greenwich middag is op bijvoorbeeld 1 april, dan is het 1 april op de hele wereld. Het is dan nog vóórmiddag ten westen van Greenwich (vb. in Amerika). Hoe verder naar het westen hoe vroeger het is in de ochtend van 1 april, tot aan de G-antimeridiaan waar het dan middernacht is. Voor een waarnemer aan de G-antimeridiaan, maar net nog aan de 'Amerikaanse' kant, is het net middernacht geweest en is 1 april net begonnen.

Steeds op de middag van 1 april te Greenwich is het dan námiddag ten oosten van Greenwich (vb. in Azië). Hoe verder naar het oosten hoe later in de namiddag van 1 april het is, weer tot op de G-antimeridiaan waar het dus middernacht is. Voor een waarnemer aan de G-antimeridiaan, maar net nog aan de 'aziatische' kant, wordt het weldra middernacht, en begint weldra 2 april.

Voor de waarnemer aan de Amerikaanse kant is 1 april nog maar net begonnen. Voor de waarnemer aan de 'aziatische' kant zal 1 april weldra eindigen. Beide waarnemers zouden elkaars overbuur kunnen zijn in dezelfde straat¹⁶, op hun klokken dezelfde officiële tijd aflezen, maar aan de 'aziatische' kant staat de kalender één dag verder dan aan de 'Amerikaanse' kant. Aan de Greenwich-antimeridiaan verspringt de kalender met één dag !

Enkele uren later, neem zes uur later, is het op de G-meridiaan 18 uur en dus op de G-antimeridiaan 6 uur 's morgens¹⁷, zowel aan de Amerikaanse als aziatische kant. Maar aan de Amerikaanse kant begon 1 april pas 6 uur geleden zodat het daar 6 uur 's morgens is op 1 april. Aan de aziatische kant daarentegen eindigde 1 april 6 uur geleden zodat het daar nu reeds 2 april is ! Iedereen is het dus nog altijd eens over het uur, maar niet over de dag ! De Amerikaanse kant loopt nog altijd één dag achter op de aziatische !

Nogmaals zes uur later is het middernacht in Greenwich, en middag (12 uur UT) aan de G-antimeridiaan. Aan beide kanten ervan. Maar het is nog altijd 1 april aan de Amerikaanse kant en 2 april aan de aziatische.

Nog eens elf uur later wordt het weldra middag in Greenwich : 11 uur. Aan de Greenwich-antimeridiaan wordt het dan weldra middernacht : 23 uur. Dit geldt weer zowel aan de

amerikaanse als de aziatische kant. Maar aan de amerikaanse eindigt weldra 1 april, aan de aziatische eindigt weldra 2 april !

Wie dus de Greenwich-antimeridiaan ‘oversteekt’ van de aziatische kant naar de amerikaanse hoeft zijn uurwerk niet aan te passen, maar moet hoe dan ook zijn kalender één dag terug zetten. Bij een passage in de andere zin moet dat dan omgekeerd : één dag verder.

De Greenwich-antimeridiaan is dus een datumgrens. De officiële **Internationale Datumlijn** valt er dan ook nagenoeg mee samen (zie figuur 7). Enkel ter hoogte van Nieuw Zeeland en doorheen de Bering Zee wijkt ze ervan af. Dit om te beletten dat binnen één zelfde land de datum verschillend zou kunnen zijn op verschillende plaatsen, omdat de datumgrens er dwars doorheen zou lopen. In deze landen geldt dan officieel toch overal dezelfde datum.

Samenvatting :

Samengevat weten we nu dat als het op een gegeven dag, bijvoorbeeld op 1 april, middag is in Greenwich, dat het dan overal ter wereld 1 april is. Zodra echter de namiddag in Greenwich begint, ontstaat er aan de aziatische kant van de datumlijn een zone waar de kalender 2 april aanwijst, dus één dag verder is dan in Greenwich zelf. Deze zone groeit naarmate het later wordt in Greenwich en ze bedekt de halve aarde op het ogenblik dat het in Greenwich middernacht is geworden en het ook daar weldra 2 april wordt. In de hele aziatische hemisfeer is het dan al 2 april geworden. In de hele amerikaanse hemisfeer is het dan nog 1 april.

Naarmate de ochtend van 2 april in Greenwich vordert, neemt de zone van 2 april verder toe terwijl de zone van 1 april verder afneemt en uiteindelijk verdwijnt als het in Greenwich weer middag is geworden op 2 april. Weldra zal dan aan de aziatische kant een zone ontstaan waar het 3 april is geworden.

X. Het lengen en korten van de dagen

Het zal niemand ontgaan dat de duur van dag en nacht in de loop van het jaar nogal wat verandert.

Bij het begin van de lente op 21 maart duren dag en nacht even lang (lentenachtevening), afgezien van straalbreking in de atmosfeer die de dag iets langer maakt. In Edegem bereikt de zon dan op de middag een hoogte van ongeveer 39° boven de zuidelijke horizon, komt ze op precies in het Oosten op en gaat ze onder precies in het Westen.

Tijdens de lente worden de dagen langer dan de nachten. De middaghoogte van de zon neemt toe en opkomst en ondergang van de zon geschiedt steeds verder naar het Noorden. Naar het einde van de lente toe gebeurt dit alles steeds trager en trager en bij het begin van de zomer rond 22 juni hebben we de langste dagen en de kortste nachten. De middaghoogte van de zon bereikt tegelijkertijd haar grootste waarde (ca 63° in Edegem¹⁸ en omstreken) en zonsopkomst en –ondergang vinden plaats in nagenoeg het Noordoosten en het Noordwesten. Daarna keren al deze bewegingen om, eerst heel langzaam, maar elke dag sneller en sneller. Vandaar de naam zomerzonnwende.

Rond 23 september (herfstnachtevening, begin van de herfst) ontstaat dan dezelfde situatie terug als op 21 maart : even lange dagen als nachten, middaghoogte van de zon gelijk aan 39° en zonsopkomst en -ondergang respectievelijk precies in het Oosten en Westen.

Na 23 september worden de dagen korter dan de nachten, blijft de middaghoogte van de zon afnemen en geschieden oopkomst en ondergang van de zon steeds verder naar het Zuiden. Rond 22 december (winterzonnewende, begin van de winter) hebben we dan de kortste dagen en de langste nachten. De zon komt dan op de middag nauwelijks 16° boven de horizon en zonsopkomst en –ondergang geschieden nagenoeg in het Zuidoosten en het Zuidwesten (voor Edegem en omgeving, je weet wel). Na de winterzonnewende beginnen de dagen terug te lengen en de nachten te korten, de middaghoogte van de zon toe te nemen, en trekken de horizonpunten van zonsopkomst en zonsondergang terug noordwaarts. Eerst langzaam, maar elke dag sneller en sneller tot op 21 maart bij de volgende lentenachtevening.

De duur van de dag (tijd tussen zonsopkomst en zonsondergang) neemt toe van 22 december tot 22 juni, en neemt af de andere helft van het jaar, dus van 22 juni tot 22 december. Telkens van zonnwende naar zonnwende dus. Rond de zonnwendes zelf is dat nauwelijks te merken omdat het lengen of korten dan stilvalt om zich om te keren. Het is vooral rond de nachteveningen dat het erg opvalt.

Maar er is meer. Halfweg zonsopkomst en zonsondergang bereikt de zon elke dag haar grootste hoogte boven de zuidelijke horizon. Dat is per definitie op de *ware* middag en die valt zelden samen met de *middelbare* middag d.w.z. met 12 uur plaatselijke middelbare tijd (dat is dus niet 12 uur officiële tijd). Afhankelijk van de tijd in het jaar valt de ware middag dan weer vóór de middelbare middag, dan weer na.

Als de ware middag steeds zou samenvallen met de middelbare dan zou het lengen en het korten van de dagen in dezelfde mate 's morgens zichtbaar zijn als 's avonds. De middelbare middag zou dan net als de ware middag precies halfweg liggen tussen zonsopkomst en zonsondergang.

De ware middag valt echter zelden samen met de middelbare. Van 3 november tot 11 februari schuift de ware middag gestadig vooruit op de middelbare tijdschaal, van 16 minuten ná tot 14 minuten vóór de middelbare middag. Rond 25 december vallen beide samen.

De dagen beginnen te lengen vanaf 22 december. De zon komt elke dag vroeger op ten opzichte van de ware middag. Maar omdat deze laatste zelf ten opzichte van de middelbare middag elke dag iets vooruit schuift, wordt het effect nog versterkt. Bij zonsondergang is het precies andersom. Elke dag gaat de zon ten opzichte van de ware middag iets later onder dan de dag ervoor, maar het verlatings-effect wordt hier gecompenseerd door het vooruit schuiven van de ware middag.

Van 11 februari tot 14 mei schuift de ware middag terug achteruit, van 14 minuten vóór tot 4 minuten ná de middelbare. Hierdoor wordt het lengen van de dagen vooral 's avonds zichtbaar en minder 's morgens.

Vanaf 14 mei tot 26 juli schuift de ware middag terug vooruit, van 4 minuten ná tot 6 minuten vóór de middelbare. Rond 14 juni vallen beide weer samen. Een effect op het lengen van de dagen is relatief klein t.o.v. de reeds lange dagen en daardoor nauwelijks te merken.

De dagen beginnen te korten op 22 juni. Tot 26 juli schuift de ware middag nog vooruit. Het korten van de dagen wordt 's morgens dus gecompenseerd en 's avonds versterkt, maar dit is weer nauwelijks merkbaar.

Van 26 juli tot 3 november schuift de ware middag echter achteruit, van 6 minuten vóór tot 16 minuten ná de middelbare, zodat het korten van de dagen vooral 's morgens zal beginnen opvallen en veel minder 's avonds. Van 3 november tot 22 december schuift de ware middag terug voorwaarts en zal vooral 's avonds het korten van de dagen opvallen.

Middelbare middag valt op 12 u *MZT* van de beschouwde plaats. Dat is wel 12u42m officiële tijd, in de zomer zelfs 13u42m.

Notes

¹ Een dag moet hier wel begrepen worden als een etmaal : dag en nacht samen. Dat dagen en nachten afzonderlijk langer en korter werden in de loop van het jaar was in noordelijk Europa zeker bekend.

² De nieuwe maand begon bij het eerste wederverschijnen van de maansikkel ca 2 dagen na Nieuwe Maan.

³ In het zuidelijke halfrond bereikt de zon haar hoogste stand boven de noordelijke horizon. Voor een waarnemer in de tropische zone (tussen de keerkringen) kan de zon, afhankelijk van de tijd in het jaar, zowel boven de noordelijke als boven de zuidelijke horizon culmineren, zij het steeds dicht bij het zenit.

⁴ Het is pas in de 16^{de} eeuw dat het werken met gebroken getallen gemakkelijker werd met de invoering van de decimale notatie door Simon Stevin.

⁵ Dit werkt slechts goed voor plaatsen voldoende ver in het noordelijk halfrond. In het zuidelijk halfrond culmineert de zon boven de noordelijke horizon en wijst de staafschaduw dus naar het Zuiden. In de tropische zone kan de zon zowel zuidelijk als noordelijk culmineren afhankelijk van de tijd in het jaar.

⁶ Het Noorden wordt bepaald als de loodrechte projectie van de noordelijke hemelpool op de horizon. De noordelijk hemelpool is een punt aan de hemel waarrond alle sterren schijnbaar cirkelvormige banen beschrijven als gevolg van de rotatiebeweging van de aarde. Die hemelpool wordt gevisualiseerd door de poolster, die er vlak bij staat.

⁷ Vanop de noordpool is immers elke richting een zuidrichting : naar welk punt van de horizon je ook kijkt, je kijkt altijd weg van het noorden, dus naar het zuiden.

⁸ Afhankelijk van het materiaal waaruit de slinger is gemaakt, verandert de lengte van de slinger in meer of mindere mate met de temperatuur, echter steeds voldoende om ook de periode van de slinger te wijzigen.

⁹ Het blijft niettemin een keuze en geen bewijs. Men *kiest* voor het behoud van Newton's wetten, ook al zijn deze misschien niet correct.

¹⁰ In principe werd het jaar in 8765.81 gelijke uren ingedeeld, aan te wijzen door een 'perfecte' slingerklok en niet door een zonnewijzer. De keuze van 1 september als referentiedatum is niet officieel en dient in deze tekst enkel om enkele moeilijkere thema's rond de schijnbare jaarlijkse beweging van de zon te vermijden. Belangrijk is dat minstens op één vast moment in het jaar de slingerklok en de zonnewijzer dezelfde tijd moeten aanwijzen.

¹¹ Deze moet wel nog gecorrigeerd worden voor een aantal onhebbelijkheden van de aardrotatie, zoals het heen en weer schommelen van de polen op het aardoppervlak. De polen zijn de snijpunten van de aardas met het aardoppervlak. Omdat de aarde geen perfect vast lichaam is, wiebelen zij rond een gemiddelde positie op een afstand van de orde van een tiental meter. Dit is te wijten aan allerlei massaverplaatsingen zowel binnenin de aarde als erbuiten (seizoenen). In deze les is dat echter van geen enkel belang.

¹² Deze term wordt enkel nog in navigatiemiddens gebruikt.

¹³ De geografische coördinaten van de overdekte hal zijn : 51°09'08"N – 4°26'41"E.

¹⁴ Temps Atomique International (*TAI*). De *TAI*-seconde is per definitie de duur van 9192631770 periodes van de straling overeenkomend met de overgang tussen twee hyperfijne niveau's van de grondtoestand van cesium 133.

¹⁵ De Terrestrial Time werd van 1984 tot 1991 meestal voorgesteld door *TDT*. In deze tekst noemen we hem meteen *TT* om verwarring te vermijden. Merk op dat in astronomie *niet* de *TAI* zelf gebruik wordt.

¹⁶ De Greenwich-antimeridiaan loopt midden door de Grote Oceaan. Behalve op enkele eilanden zul je er dus niet gauw overburen in een zelfde straat tegenkomen.

¹⁷ Het tijdsverschil tussen de G-meridiaan en de G-antimeridiaan is uiteraard steeds 12 uur

¹⁸ Voor die omstreken kun je gerust heel het noordelijk halfrond nemen op 'gemiddelde' geografische breedte. Op gemiddelde geografische breedte in het zuidelijk halfrond geldt principieel hetzelfde, mits Noord en Zuid te verwisselen (niet Oost en West !) en 'van links naar rechts' door 'van rechts naar links'. In de tropische en de polaire zones zijn er extra bijzonderheden die hier niet relevant zijn.