

Sal die Era van Aquarius met 'n “skrikkelsprong” in die millennium tot sy reg kom?

D.P. Smits

Departement Wiskunde, Toegepaste Wiskunde en Sterrekunde, Posbus 392, UNISA, 0003

E-pos: dps@astro.unisa.ac.za

Ontvang: 20 November 2000; aanvaar 25 Januarie 2001

UITTREKSEL

Waar ons nou die einde van die 2de millennium AD nader, het dit duidelik geword dat daar heelwat verwarring heers oor hoe en waarom ons kalender opgestel is soos dit is. Die lengte van 'n jaar en van die astronomiese eeu word beide gedefinieer aan die hand van die posisie van 'n bepaalde punt aan die hemel, wat bekend staan as die Eerste punt van Aries. Deurdat hierdie punt met betrekking tot die sterre-agtergrond beweeg, skep dit probleme om sterrekundige gebeurtenisse, wat die seisoene bepaal, aan 'n vaste datum in ons kalender te koppel. Die Katolieke Kerk se wens om Paasfees op 'n datum te vier wat deur spesifieke astronomiese gebeurtenisse bepaal word, het in die 16de eeu gelei tot die implementering van die kalender wat nou internasionaal in gebruik is.

ABSTRACT

With a leap in the millennium will Aquarius have come of age?

As we approach the end of the 2nd millennium AD, it is obvious that there is much confusion as to how and why our calendar is constructed as it is. The length of a year and the astronomical age are both defined by the position of a point in the sky known as the first point of Aries. This point moves with respect to the stars and hence there is a problem in trying to synchronise astronomical events which determine the seasons with a fixed date in the calendar. The Catholic Church's desire to celebrate Easter on a date set by certain astronomical events, led to the implementation in the 16th century of the calendar now used internationally.

1. TYD

Volgens graffiti op die muur van 'n manstoilet in Austin, Texas, is tyd die natuur se manier om te verhoed dat alles tegelykertyd plaasvind (Novikov 1998). Die aard van tyd vorm 'n diep filosofiese probleem wat vele bladsye van navorsing in tydskrifte en boeke in beslag neem. 'n Kwessie soos die tyd-pyl – beweeg tyd slegs voorwaarts? – is relevant vir baie vertakkinge van die wetenskap, insluitende veroudering in biologiese sisteme en die toename van entropie in termodinamika. Dit is egter nie nodig om hier met sodanige kwessies te worstel nie; hier word gefokus op die vraag hoedat tyd gemeet word deur die herhaling van bepaalde astronomiese gebeurtenisse, en meer spesifiek, hoedat ons kalender opgestel is.

Baie plante en diere ondergaan veranderinge met die wisselende seisoene of toon van dag tot nag verskillende gedragspatrone. Sekere bome verloor byvoorbeeld hul blare in die herfs, blomme vou toe in die aand en diere mag in die winter in 'n winterslaap gaan, of gedurende die dag slaap sodat hulle snags kan jag. Tydens 'n algehele sonsverduistering begin voëls egter neswaarts keer asof die aand aangebreek het, al is dit in die middel van die dag. Dit is duidelik dat baie lewensvorme bewus moet wees van die verloop van tyd deur die veranderinge wat deur die reëlmatige siklusse van die natuur teweeggebring word, maar daadwerklike meting van tyd is blykbaar 'n spesifiek menslike strew.

Die noodsaak om 'n sisteem te hê om tyd by te hou, het ontstaan uit die mens se toenemende vlakke van beskaaftheid. Oermense was nomadiese jagters-versamelaars wat na gebiede getrek het waar hulle voedsel kon vind in die vorm van diere wat gejaag kon word en vrugte wat gepluk kon word. Namate die vroeë mens al hoe meer beskaafd geword het en landbou begin beoefen het, het dit nodig geword om te weet wanneer die plant-, groei- en oesseisoene vir gewasse aangebreek het.

Vroeë beskawings soos dié van China, Indië, Sumerië, Babilonië en Egipte het besef dat hemelliggame in reëlmatige siklusse aan die hemel beweeg. Kalenders wat op gebeurtenisse gebaseer was wat met die Son, Maan en die sterre verband gehou het, is gebruik om te voorspel wanneer vloede mag voorkom, of wanneer die winter aan die kom was.

2. BEWEGINGS AAN DIE HEMEL

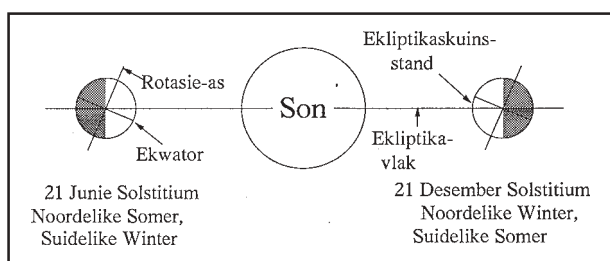
Vir 'n waarnemer wat na die hemel kyk, lyk hemelliggame asof hulle in groot boë oor die hemel beweeg, byna asof hulle aan die oppervlak van 'n reusagtige sfeer vassit. Daar word na hierdie hipotetiese oppervlak verwys as die hemelsfeer of die uitspannel; die radius van die sfeer is geheel en al willekeurig en van geen belang nie. Die posisie van enige paar hemelliggame relatief tot mekaar kan met groot akkuraatheid gemeet word deur die hoek te meet wat hulle vir die waarnemer onderspan. Hoewel dit lyk asof sterre deur die nag oor die hemel aanskuif, bly hul posisies relatief tot mekaar tog konstant. Deesdae is dit bekend dat sterre se posisies wel verander, maar omdat hulle so ver is, is hierdie verandering baie stadig en is daar vir die blote oog oor duisende jare geen merkbare veranderinge te bespeur nie. In teenstelling met die sterre, beweeg die liggame in die sonnestelsel, veral die planeete wat dikwels vir sterre aangesien word, teen hierdie vaste agtergrond van sterre. Die woord “planeet” is afgelei van 'n Griekse woord wat “swerwer” (“wanderer”) beteken, om hul gedrag te onderskei van dié van die sterre.

Sedert antieke tye het ou beskawings oor die hele wêreld die patrone herken wat deur die sterre gevorm word; die arbitrêre hemelstreek waarin hierdie konfigurasies voorkom, word **konstellasies** (sterrebeelde) genoem. Die konstellasies bied 'n gerieflike metode van lokalisering en benoeming van die sterre en ander hemelliggame. Ptolemeus het 48 konstellasies onderskei wat vir hom aan die hemel sigbaar was, en het dit aan

opvolgende geslagte oorgedra met behulp van sy *Almagest-geskrifte*. Toe Europeërs begin het om ook die suidelike halffrond te verken, het seevaarders en karteerders van die hemel die lys uitgebrei met konstellasies wat in die nuwe hemele gevind is. Die sterrebeelde se grense is egter redelik lukraak gedefinieer, en het mekaar in sommige gevalle oorvleuel. Daarom het die Internasionale Astronomiese Unie (IAU) in 1930 88 konstellasies met duidelik gedefinieerde grense amptelik aanvaar. Hoewel die oorsprong van sommige sterrebeelde se name duisende jare ver in die verlede lê en van mitologie vanuit verskillende kulture deurdring is, het die IAU die konvensie aanvaar dat Latynse name vir al die sterrebeelde gebruik sal word, ongeag wat hul oorsprong is.

Vanaf die Aarde gesien, volg die Son en planeete almal naasteby dieselfde baan tussen die sterre. Aan die hemel is die Son die mees prominente liggaam en sy baan is duidelik die belangrikste. Omdat eklipse (verduisteringe) mag voorkom wanneer die Maan in die omgewing van die Son se baan is, staan die denkbeeldige lyn wat die roete van die Son (die sonneweg) deur die sterre aandui, as die **ekliptika** bekend. Die konstellasies waardeur die ekliptika kruis, het van die vroegste tye af spesiale betekenis gehad. Volkere in die Midde-Ooste het sekere wesens uit die fabels en mitologiese helde in die sterrebeelde gesien en het dit die **Diereriem** of Sodiak genoem (uit “Zodiak”, die Griekse woord vir “pad van diere”). Gedurende Julius Caesar se bewind is die Skerpioen se knypers herdoop tot Libra (die Weegskaal), die enigste nie-lewende lid van die 12 konstellasies van die Diereriem. Die keuse van 12 sodiaksterrebeelde hou waarskynlik verband met die voorkoms van naasteby 12 maanskylse of maanomwentelinge per jaar. Tot vandag toe word die sterrekonstellasies van die Diereriem met astrologie (sterrewiggelary) geassosieer; die “sterreteken” vir enige gegewe periode was die sterrebeeld waartydens die Son daardie sterrebeeld as sy agtergrond het. Die moderne presiese omlyning van hierdie sterrebeelde het meegebring dat daar nou eintlik 13 konstellasies is waardeur die Son op sy jaarlike omwentelingsbaan deur die hemel beweeg. Die nuwe lid is Ophiuchus, ’n konstellasie wat tussen Scorpius en Sagittarius lê. Astroloë het by die antieke definisies gehou waarvolgens daar slegs twaalf “sterretekens” erken word. Verder het hulle nie die wetenskaplike weg gevolg om die Latynse name Scorpius en Capricornus vir die Skerpioen en Steenbok respektiewelik te gebruik nie. As iemand die term “Scorpio” gebruik, sal ’n mens onmiddellik weet die persoon is ’n astroloog en nie ’n astronoom nie.

In ’n heliosentriese stelsel is dit die Aarde wat beweeg, en nie die res van die heelal nie. Die (geografiese) noord- en suidpool is punte waardeur ’n denkbeeldige as gaan waarom die Aarde roteer, en sodoende die oënskynlike daaglikse beweging van die Son en sterre oor die hemel teweegbring, terwyl die Son se stadige aanskuif teen die agtergrond van die sterre teweeggebring word deur die Aarde se eie baanbeweging



FIGUUR 1: Helling van die Aarde se rotasie-as met betrekking tot die vlak van die ekliptika.

rondom die Son. Ons planeet se baan om die Son lê in ’n vaste vlak wat bekend staan as die **ekliptikavlak**. Die ekwator is gekantel met ’n hoek van $\sim 23\frac{1}{2}^\circ$ met betrekking tot hierdie Son-Aarde-vlak, soos in figuur 1 uitgebeeld. Die rotasie-as handhaaf regdeur die wentelbaan ’n konstante rigting en helling. Vanaf die Aarde gesien, lyk dit asof die Son tussen die sterre deur op ’n baan beweeg wat met hierdie selfde hoek, naamlik $23\frac{1}{2}^\circ$, relatief tot die ekwator gekantel is. Dit is hierdie kanteling wat veroorsaak dat die Son se posisie gedurende die jaar verander, en dat die lengte van ’n dag ook wissel, wat meebring dat daar seisoene is.

Die vroegste landbouers het geweet dat die Son se posisie verander met die seisoene, en spesifiek dat dit op die middel van die dag in die somer sy hoogste hoogte bereik, wanneer die dae lank is, en in die winter sy laagste hoogte, wanneer die dae kort is. Die tydstippe wanneer die Son se stand die verste noord of die verste suid op die ekliptika lê, staan bekend as die solstitiums, en die tydstippe wanneer die dag en nag ewe lank is, word die ekwinokse (dag-en-nag-eweninge) genoem. Vooruitberekening van die tydstippe waarop hierdie stande gaan gebeur, kan gedoen word deur die inlynstelling van die Son, gewoonlik met sonsopkoms of sonsondergang, met vaste merkers op die grond. Soms is daar reusagtige strukture gebou om te meet wanneer die sonskeerpeunte en ekwinokse plaasgevind het. Baie kulture het ook een of ander godsdienstige betekenis aan hemelliggame gekoppel, en hulle soos gode aanbid. Die gebruik van aanbidding het algaande verweef geraak met die meer praktiese aspek van tydsbepaling, met die gevolg dat dit dikwels moeilik is om die hoofdoel van so ’n tempel of klipbouwerk te onderskei.

3. HEMEL-KOÖRDINAATSTELSELS

Hoewel ’n mens baie te wete kan kom uit die relatiewe posisies van hemelliggame, is dit ook gerieflik om ’n koördinaatsisteem en ’n verwysingsraamwerk aan die hemelsfeer te hê. Twee natuurlike (sferiese) koördinaatstelsels kan gedefinieer word in ooreenstemming met eerstens die vlak waarin die Aarde om die Son beweeg, en tweedens die Aarde se eie rotasiebeweging om eie as. Laasgenoemde sisteem word gebruik om posisies nie alleen op die hemelse sfeer te definieer nie, maar ook hier op Aarde. ’n Denkbeeldige netwerk van lyne wat lengte- en breedtegrade genoem word, word gebruik om posisies te identifiseer. Die ekwator bied ’n natuurlike basislyn vir die meting van breedtegraad; die ekwator word as nul geneem, en so tot 90° by die pole van die rotasie-as. Vir lengtegraad is daar geen natuurlike beginpunt nie; ’n arbitrêre meridiaan moet gekies word as die nul-lengtegraad. Deur internasionale afspraak is die **nulmeridiaan** in 1884 gedefinieer as dié lyn wat deur ’n sekere fundamentele posisie-metende teleskoop gaan, wat bekend staan as Airy se meridiaansirkel by die Koninklike Sterrewag, te Greenwich in Brittanje.

Die projektering van breedte- en lengtegraad op die hemelsfeer is een manier om ’n verwysingsraamwerk daar te stel vir die vasstelling van hemelliggame se posisies. Daar word na hierdie sisteem verwys as die **ekwatoriale stelsel**, en dit maak gebruik van **regte klimming** (“right ascension”) α , en **deklinasie** δ as die koördinate op die hemelsfeer wat ekwivalent is aan die aardse lengte- en breedtegrade. Verlenging van die Aarde se rotasie-as sny die hemelsfeer in die **hemelse noord- en suidpole**, en die vlak van die Aarde se ekwator sny die hemelsfeer in die **hemelse ekwator**.

Net soos met breedtegraad, wissel die deklinasie δ van 0° by die ekwator tot 90° by die pole, en word dit gedefinieer as positief (negatief) noord (suid) van die ekwator. Regte klimming word

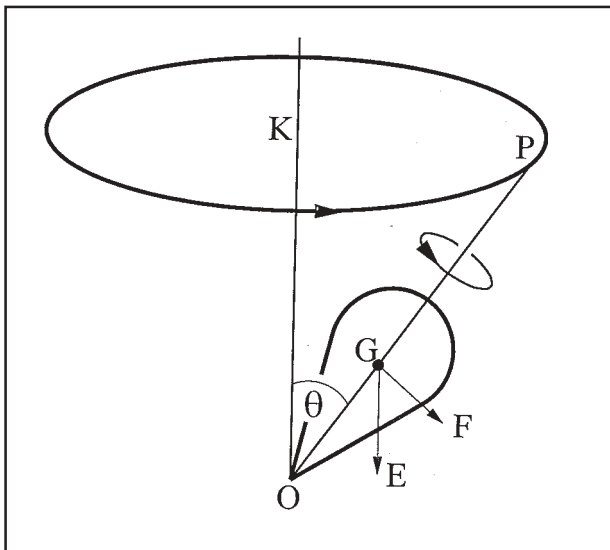
gewoonlik uitgedruk in terme van tyd, deur die hemel in 24 ure te verdeel; vanaf die Noordpool gesien, neem regte klimming antikloksgewys toe. Die nulmeridiaan van regte klimming soos dié van lengtegraad, moet vanaf een of ander arbitrêre punt op die hemelse ekwator gemeet word. Dit word gedoen met behulp van die ander koördinaatsstelsel.

Die geometrie van die Sonnestelsel bied vir ons nog 'n natuurlike koördinaatsstelsel wat bekend staan as die **ekliptika-stelsel**. Die 0-breedtegraad van die ekliptika-stelsel is die ekliptikavlak, en die pole is loodreg op die Aarde-Son-vlak. Die hemelekwator en ekliptikavlak sny mekaar op twee punte wat bekend staan as die ekwinokse. Die punt wat gekies word om die nulpunt van regte klimming en die nulpunt van ekliptikalengtegraad te definieer, staan bekend as γ , en is die ekwinoks waar die Son die hemelekwator van suid na noord kruis. Dit geskied rondom die 21ste Maart elke jaar, en word beskou as die begin van die lente in die noordelike halfrond. Vir redes wat later bespreek sal word, staan die punt γ bekend as die Eerste punt van Aries. Die punt waar die Son die ekwator van noord na suid kruis, is die ander ekwinoks en staan bekend as die Eerste punt van Libra.

4. DRAAITOLLE

Enigeen wat al ooit met 'n tol gespeel het, sal weet dat 'n tol wat draai, anders as ander liggame, nie omval nie. Dit moet kennelik verband hou met die draaimomentum daarvan. In figuur 2 word 'n tol uitgebeeld wat om sy as OP draai en wat 'n hellingshoek θ met die vertikaal OK maak. As G die tol se massamiddelpunt is, dan is die vertikaal afwaartse krag van sy gewig (swaartekrag) GE. Die komponent van hierdie krag loodreg tot OP sou na verwagting normaalweg die hoek KOP laat toeneem, sodat die tol sou omval. Weens die vinnige rotasie om OP, is daar egter 'n krag wat op so 'n wyse op G inwerk dat die vlak KOP om OK roteer, soos geïllustreer in figuur 2. Eerder as om na die horisontaal te val, roteer die draai-as van die tol rondom die vertikaal. Newton het die eerste korrekte dinamiese verklaring van hierdie beweging van die draai-as gegee, wat presessie genoem word.

Net soos 'n draaitol wat in die swaartekragveld van die Aarde draai, presesseer, so sal ook die rotasie-as van die Aarde onder die invloed van die gravitasiekragte uitgeoefen deur die Son en Maan presesseer. As die Aarde 'n sfeer van eenvormige digtheid was, sou die rigting van die Son en Maan se aantrekkingskragte

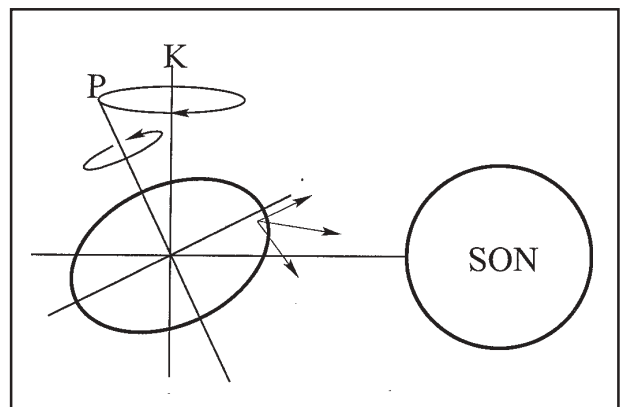


FIGUUR 2: Presessie van 'n draaitol.

deur sy middelpunt gaan en sou daar geen kragmoment in werking wees om die rigting van die rotasie-as te verander nie. Die Aarde is egter in werklikheid 'n afgeplatte sferoïed, met 'n ekwatoriale radius wat nagenoeg 0.3% meer is as die poolradius. Bowendien is die Son en Maan nie in die Aarde se ekwatoriale vlak geleë nie. Omdat die gravitasie-aantrekkingskragte van die Son en Maan nie regdeur die Aarde se middelpunt gaan nie, produseer hulle kragmomente om die massamiddelpunt. Wat die Son betref, die gravitasie-aantrekkingskragte van die Son werk op die ekwatoriale uitstulping, soos weergegee deur die vektore in figuur 3, en het die effek dat die ekwatorvlak in die rigting van die ekliptika beweeg. Soortgelyke kragte werk ook op die uitstulping aan die agterkant, maar omdat hierdie uitstulping verder weg is van die Son as die voorste gedeelte, is die kragte daar swakker. Die kragte aan die voorkant en agterkant is dus asimmetries om die middelpunt en hef mekaar nie op nie. Soos aangetoon, is daar 'n netto krag op die naaste uitstulping na die middelpunt van die Son gerig. Omdat die Aarde roteer, is die dinamiese resultaat soortgelyk aan dié van 'n draaitol; die Aarde se pole beskryf as 't ware klein sirkels om die pole van die ekliptika.

Die effek weens die Maan is soortgelyk hieraan, en die gesamentlike uitwerking op die beweging van die pole word **Maan-Son-presessie** of **lunisolêre presessie** genoem. Die resulterende torsie wat die Son en Maan op die Aarde uitoefen, wissel na gelang van die veranderende konfigurasies en die afstande tussen die drie liggame. Die ooreenstemmende beweging van die pole op die hemelsfeer is gevolglik taamlik ingewikkeld. Dit is gerieflik om hierdie beweging in twee dele te verdeel: die langtermyn-gemiddeld, oftewel sekulêre beweging word **lunisolêre presessie** genoem; en die korttermyn-periodieke ossillasies om hul gemiddelde staan bekend as **nutasies**.

Vir die draaitol is die rigting van die draaiing en presessie dieselfde. Vir die Aarde is hulle in teenoorgestelde rigtings. Die rede hiervoor is dat die swaartekrag op die tol die draai-as weg trek van die as OK, terwyl die krag in die Aarde-Son-stelsel die Aarde trek in die rigting van OK. Omdat die torsie op die massamiddelpunt in die teenoorgestelde rigting is, presesseer die pole in 'n retrograde rigting, d.w.s. in die teenoorgestelde rigting van die draairigting. Die ekwator is loodreg op die Aarde se draai-as (per definisie), en gevolglik verander presessie van die pole die posisie van die ekwator relatief tot die ekliptika, wat lei tot 'n retrograde beweging van die ekwinokse langs die ekliptika. Soos in figuur 4 aangetoon, word die beweging van die pool vanaf P_1 tot P_2 vergesel van 'n beweging van die ekwator vanaf γ_1 tot γ_2 . In 'n periode van $\sim 25\,800$ jaar beskryf die pool P 'n sirkel om K, en terwyl γ 'n volledige omwenteling



FIGUUR 3: Presessie wat deur die Son veroorsaak word.

nie konstant is nie. Burgerlike tyd word gebaseer op 'n jaarlikse gemiddelde waarde vir die lengte van 'n dag, en nie op die posisie van die Son nie.

Die jaarlikse gemiddelde tydsduur van die skynbare sonnedag word 'n **middelbare sonnedag** genoem. Dit is gerieflik om 'n middelbare sonnedag te definieer in terme van twee opeenvolgende oorgange van 'n denkbeeldige liggaam, wat die **Middelbare Son** genoem word, deur die waarnemer se meridiaan. Die Middelbare Son beweeg met die hemelse ekwator langs (en nie langs die ekliptika nie), teen 'n konstante tempo om die Aarde. Dit voltooi 'n omwenteling langs die Ekwator in dieselfde tyd as wat die (werklike) Son 'n volledige omwenteling van die ekliptika vanaf Υ tot Υ deurloop. Deur die middelbare sonnedag in 24 ure te verdeel, met 60 minute per uur en 60 sekondes per minuut, kan die sekonde gedefinieer word in terme van die lengte van 'n middelbare dag.

Wanneer die Middelbare Son op 'n waarnemer se meridiaan is, is dit **plaaslike middelbare 12-uur middag** op daardie lengtegraad-meridiaan. Universele Tyd (UT), waarna vroeër verwys is as Greenwich Middelbare Tyd ("Greenwich Mean Time" of GMT), is die tyd in ooreenstemming met die Middelbare Son op die lengtegraad van die nulmeridiaan. As elke plek op aarde sy eie plaaslike middelbare tyd sou gehad het soos toepaslik was op die meridiaan op daardie plek, sou ons ons horlosies elke keer wat ons oos of wes beweeg opnuut moes instel. Dit sou uiters verwarrend gewees het (om dit sag te stel), en daarom is die tyd by 'n spesifieke lengtegraad-meridiaan gekies tot standaard middelbare tyd oor 'n paar lengtegrade. Suid-Afrikaanse Standaardtyd (SAST) is byvoorbeeld gebaseer op die meridiaan wat 30° oos, deur Ermelo loop. Daar is 'n bord in die dorp wat die posisie van die meridiaan aandui.

In bepaalde omstandighede is dit gerieflik om die tydstip van 'n gebeurtenis uit te druk in terme van dae of breukdele van dae. Die **Juliaanse Datum** (JD) word gedefinieer as die getal dae wat verloop het sedert die middelbare middaguur te Greenwich op Januarie 01 van die jaar 4713 v.C. Hierdie beginpunt is heel willekeurig gekies deur die Franse wiskundige Joseph Scaliger. Die naam "Julian" is ter ere van sy vader, Julius, en het niks te make met Julius Caesar nie. Hierdie metode om dae te nommer, is onafhanklik van die getal dae in 'n maand of jaar. Dit word gebruik om die getal dae aan te dui tussen verskillende gebeurtenisse wat lang tydintervalle uit mekaar lê. 'n Waarneming wat om 18:00 UT op 03 Januarie 1931 gemaak is, het die Juliaanse datum van 2426343.25. Die gewysigde Juliaanse datum ("modified Julian date" MJD) is die Juliaanse datum minus 240 0000.5, d.i. 26342.75 vir hierdie voorbeeld. Die Astronomiese Almanak bevat 'n lys van kalenderdatums en hul ooreenstemmende Juliaanse datums.

'n **Tropiese jaar** (ewenagsjaar) word gedefinieer as die tyd wat verloop tussen twee opeenvolgende deurgange van die Son deur Υ , die Maart-ekwinoks, en is gelyk aan 365.2422 middelbare sonnedae. Dit is die tydsverloop waarna ons normaalweg verwys as 'n jaar en is dieselfde tydperioede wat deur die vroegste kalenders soos dié te Stonehenge gemeet is. Omdat Υ retrograad beweeg met betrekking tot die agtergrondsterre, is die tydsverloop wat die Son neem om twee deurgange deur 'n punt tussen die sterre te maak, ietwat langer as 'n tropiese jaar. 'n **Sideriese jaar** (sterrejaar) is 365.2564 dae lank. Aangesien die Aarde in 'n elliptiese baan om die Son beweeg, is daar 'n punt waar die Aarde naaste aan die Son is; hierdie punt word die perihelion genoem. Twee opeenvolgende deurgange deur die perihelion is 365.2596 dae uit mekaar en staan bekend as 'n **anomalistiese jaar**. Dit is duidelik dat die perihelion besig is om progressief (ooswaarts) relatief tot die sterre te beweeg.

Indien 'n kalenderjaar as 365 dae geneem word, kan daar gesien word dat die kalender na 100 jaar met soveel as 24 dae uit pas sal wees met die seisoene, wat op grond van sterrekundige gebeurtenisse gedefinieer is. Na ongeveer 750 jaar sal die seisoene omgeruil wees met betrekking tot die kalender, d.w.s. die somer in die Suidelike Halfrond sal in Junie wees en nie in Desember nie. Die kalender moet vanselfsprekend so opgestel word dat die seisoene, soos gedefinieer deur die ekwinokse en solstitiums, altyd op naasteby dieselfde datums intree.

6. VERANDERING IS DIE ENIGSTE KONSTANTE . . .

Daar is reeds genoem dat die sterre stadig beweeg met betrekking tot mekaar, en dat die hemelkoördinaatstelsels wat gebruik word om die posisies van hemelliggame teen die agtergrondsterre te bereken, teen die agtergrondsterre skuif. In die vorige gedeelte is die lengte van 'n sekonde gedefinieer in terme van 'n middelbare dag, en die gemete lengte van 'n tropiese jaar is eweneens in terme van middelbare dae gegee. Die leser sal seker nie verbaas wees om nou te hoor dat die lengte van 'n dag en die lengte van 'n jaar aan verandering onderworpe is nie.

Indien 'n sekonde gedefinieer word in terme van 'n middelbare sonnedag, is daar geen manier om na te gaan of die lengte van 'n middelbare sonnedag dalk verander nie. Met die invoer van atoomhorlosies in 1972, het 'n akkurate, onafhanklike toestel vir die meting van tyd egter beskikbaar geword om die lengte van 'n middelbare sonnedag te meet. Die sekonde word nou gedefinieer in terme van die spoed van lig en die standaardlengtemaat van 'n meter, en nie meer met betrekking tot die lengte van 'n dag nie. Namate die Aarde draaimomentum verloor, word sy spoed van baanomwenteling en van rotasie om eie as al hoe stadiger. Atoomhorlosies stel die mens in staat om sodanige korttermynveranderinge te meet; sonsverduisteringe stel die mens in staat om die kumulatiewe effek van veranderende draaitempo's oor langer termyne van vele eeue te meet.

Verduisteringe van die Son en Maan is opvallende verskynsels wat met groot belangstelling, en dikwels met 'n gevoel van onheil, waargeneem is deur die meeste beskawings. Omdat die skynbare deursneë van die Son en Maan byna ewe groot is as dit vanaf die Aarde se oppervlak waargeneem word, lewer sonsverduisteringe smal totaliteitsones. Betroubare verslae aangaande waar en wanneer verduisteringe in antieke tye voorgekom het, kan as markeerders gebruik word van die rotasieposisie van die Aarde in so 'n epog. Neem byvoorbeeld die algehele sonsverduistering van 181 v.C. wat, volgens 'n antieke Chinese bron, waargeneem is in die hoofstad Chang'an, wat nou ooreenstem met die moderne stad Xi'an. As die totaliteitsone bereken word vanuit die aanname dat die Aarde teen 'n konstante tempo draai, is daar 'n rotasieverskil van 3.3 ure tussen die voorspelde sone en die stad Chang'an. Dit verteenwoordig die kumulatiewe afwyking in rotasiehoek tussen 181 v.C. en die huidige tyd, weens veranderinge in die Aarde se rotasietempo.

Alhoewel die verandering in draaitempo nie baie groot is nie, het tegnologiese vooruitgang in die afgelope jare dit moontlik gemaak om hierdie veranderinge te meet. 'n Internasionale liggaam is verantwoordelik vir die bytel of aftrek van skrikkelsekondes by ons horlosies, 'n regstelling wat naasteby elke agtien maande geskied ten einde sterrekundige gebeurtenisse met atoomhorlosies te sinchroniseer. Rondom die epog van 1820 AD was die middelbare lengte van die dag presies 86 400 sekondes. Vir die dinosourusse wat die Aarde tussen 300 en 65 miljoen jaar gelede bewoon het, was die dag egter heelwat korter as wat dit nou is. Daarenteen is die lengte van 'n jaar tans besig om af te neem. Met slegs gemiddeld 0.5 sekondes per eeu, is hierdie verandering egter onbeduidend en is dit nie

nodig om enige wysigings aan ons kalender aan te bring nie.

Wat verduisteringe betref, moet daar genoem word dat die eerste en tweede algehele sonsverduistering van die nuwe millennium beide sigbaar sal wees in suidelike Afrika. Op 21 Junie 2001 sal die totaliteitsone van 'n sonsverduistering oor Angola, Zambië, noordelike Zimbabwe en Mosambiek strek. Die volgende totale sonsverduistering sal op 4 Desember 2002 vanaf Messina in Suid-Afrika sigbaar wees, indien reënwolke nie die hemel bedek nie. Vir meer besonderhede oor hierdie gebeurtenisse kyk gerus na <http://umbra.nascom.nasa.gov/eclipse/010621/text/toc.html>

7. DIE GREGORIAANSE KALENDER

Soos blyk uit Hipparchus se model van die Son se beweging (fig. 5), was die Grieke daarvan bewus dat 'n jaar naasteby 365.25 dae lank was. Hierdie kennis is oorgelewer aan die sterrekundiges van Alexandrië, wat dit weer op hulle beurt aan Julius Caesar oorgedra het, gedurende sy jare in Egipte toe hy met Cleopatra in verbinding was. In daardie tyd het die Romeinse Ryk 'n sisteem gebruik wat op 'n 12 maande lange maanjaar gebaseer was, plus af en toe addisionele dae en maande wat deur priesters ingevoeg is om die kalenderjaar min of meer met die seisoene te laat strook. Met sy terugkeer van Egipte in 46 v.C. het Caesar egter gevind dat die Romeinse jaar byna twee volle maande uit pas was met die sonjaar. Om die kalender weer in lyn te bring met die lente-eweningspunt in die noordelike halfrond, het Caesar twee ekstra maande by die jaar 46 v.C. gevoeg, wat dit tot 'n uitsonderlike 445 dae verleng het. Hy het ook probeer om die getal dae in 'n jaar te korrigeer en het op 01 Januarie 45 v.C. begin met 'n sisteem wat oorspronklik deur Ptolemeus III in 238 v.C. aanbeveel is, waarin 'n siklus van drie jare van 365 dae gevolg word deur 'n "skrikkeljaar" van 366 dae. Die gemiddelde lengte van 'n burgerlike jaar in hierdie sisteem is 365.25 dae, wat na afloop van 'n honderd jaar met minder as 'n dag verskil van die tropiese jaar.

By die eeuwending van die 16de eeu het die kalender wat deur Caesar opgestel is, met meer as twaalf dae weggedryf van die seisoene, soos deur die ekwinokse en solstitiums gedefinieer is. Tabelle wat die ekwinokse gemeet het, is gesirkuleer, die mees opvallende foute in die kalender is uitgelig en die Kerk is so in 'n verleentheid gestel. Oproepe om die kalender te hervorm, het steeds weerklink, maar dit was eers op 24 Februarie 1582 dat veranderinge uiteindelik geïmplementeer is. Op daardie datum het Pous Gregory XIII 'n pouslike bul uitgevaardig wat die kalender wat tans in gebruik is, verorden het, en die dae Oktober 5 tot en met Oktober 14 in daardie jaar afgeskaf ten einde die kalender in lyn te bring met die seisoene. Hierdie verreikende veranderinge aan die kalender moes deur alle onderdane van die Vatikaan gehoorsaam word, maar is in meer onlangse tye deur die hele wêreld aanvaar, wat die Kerk se invloed katoliek in die ware sin van die woord gemaak het.

Om te begryp waarom die Kerk betrokke (en verleë) was, is dit nodig dat ons teruggaan in die geskiedenis tot by die gebeure van 312 AD. In daardie jaar het Konstantyn die Grote, soos hy later bekend gestaan het, sy opponente verslaan en so die onbestrede heerser van die Romeinse Ryk geword. Die ambisieuse Konstantyn wou die verswakkende Ryk tot sy vorige glorie herstel. Hy was blykbaar bereid om bykans enige godsdiens wat sy politieke strewes kon dien, te aanvaar. In 'n paar jaar se tyd het die Christendom geleidelik die oorhand gehad, hoewel Konstantyn self 'n volle persoonlike verbintenis tot sy eie staatsgodsdiens tot in 337 vermy het, toe hy uiteindelik op sy sterfbed gedoop is. Sy samesmelting van kerk en staat het in wese 'n poging van Caesar beëindig om godsdiens van regering te ontkoppel.

Die Christendom het meer soos 'n versameling van sektes en denominasies gefunksioneer dan as een enkele samehangende godsdiens. Dieselfde basiese leerstelling is deur al die groepe gevolg maar hulle het op bepaalde punte verskil, soos byvoorbeeld wanneer om Paastyd te vier. In die laat lente van AD 325 het Konstantyn 'n raad van ~300 biskoppe in 'n stil Turkse dorpie, genaamd Nicaea, byeengeroep. Die raad se mandaat was om 'n eenvormige leerstelling met 'n stel reëls daar te stel, wat beheer sou word deur 'n sentrale struktuur met homself as keiser aan die hoof. Hy het die biskoppe opdrag gegee om alle verskille uit die weg te ruim, vanaf klein geskilpunte tot fundamentele geskille.

Alhoewel daar geen skriftelike bewys bestaan van die besonderhede nie, het een van die debatte te Nicaea oor die datum van Paastyd gegaan. Paastyd is die Christendom se heiligste dag maar die presiese datum van Christus se opstanding is nooit aangeteken nie. Die Evangelies volgens Matteus, Markus en Lukas suggereer die Sondag na die Paasfees in die Joodse maand van Nisan. Die Evangelie van Johannes dui op 'n ander datum in Nisan. Die datum van die Paasfees word gedateer volgens die fases van die Maan in die Joodse kalender. Dit beteken dat die datum vir die Paasfees van jaar tot jaar verander, altans in 'n sonkalender. Vroeë Christene het blykbaar nie oor die nodige sterrekundige kennis beksik om die Maanfases met die sonkalender te sinchroniseer nie.

Teen die tyd dat die raad in 325 byeengekom het, het die meeste Christene blykbaar saamgestem dat die heilige dag wel 'n verband behoort te hê met die volmaan wat in die Joodse maand van Nisan val. Opkomende anti-Semitisme het Christene egter beïnvloed om nie datums te gebruik wat afgehang het van Joodse priesters se vasstelling van die begin van Nisan nie. Daar is besluit om Christus se opstanding aan die sonnejaar en aan Caesar se kalender te verbind, deur die Maart-ekwinoks as 'n vaste datum te gebruik om die datum van Paastyd te bepaal. 'n Willekeurige datum van 21 Maart (in plaas van Caesar se datum van 25 Maart) is gekies vir die (Noordelike Halfrondse) lente-ekwinoks. Die reël was dat Paastyd sou val op die eerste Sondag na die volmaan na daardie nagewening, maar nooit op die begin van die Joodse Paasdag nie.

Op advies van die raad se biskoppe het Konstantyn Caesar se jaar van 365.25 dae, van 12 maande intak gelaat, maar hy het drie belangrike veranderinge aan die kalender aangebring: hy het Sondag tot heilige dag verklaar in 'n sewedagweek; hy het deur vaste datums, amptelike erkenning gegee aan Christelike vakansiedae (soos Kersfees); en hy het die Paasfeesviering by die kalender ingesluit as 'n wisselende vakansie. Ongelukkig het hy die sentrale fout in Caesar se kalender nie reggestel nie. 'n Tropiese jaar is 'n paar minute korter as 365.25 dae, en daar is dus 'n stadige, terugwaartse verskuiwing van die kalender met betrekking tot die werklike wentelbaan van die Aarde. Teen die sestiende eeu het die ekwinoks nie meer saamgeval met 21 Maart nie, en gevolglik is Paastyd op die verkeerde tyd gevier.

Hoewel daar in die vroeë 1500's pogings aangewend is om die kalender reg te stel, is geen geskikte oplossings gevind nie, en die Kerk se prioriteite is tydelik afgelei deur die aktiwiteite van 'n sekere onverskrokke persoon genaamd Martin Luther. Uiteindelik, in die middel 1570-er jare het Pous Gregory die Jesuïet-sterrekundig, Christopher Clavius (1537 – 1612, as hoof van 'n kalender-kommissie aangestel.

Die kalenderhervorming is in werklikheid ontwerp deur 'n geneesheer genaamd Aloysius Lilius (1510 – 1576), van wie daar baie min gegewens bekend is. Hy is dood voordat sy oplossing aan die Pous se kommissie voorgelê kon word, maar sy broer Antonio het die planne aan die kalender-kommissie voorgelê. Hulle het dit vinnig aangeneem as hul vernaamste

voorstel, maar moes toe hard werk om die nuwe kalender teen vele wetenskaplike en kerklike bedenkinge en teenargumente te verduidelik en verdedig.

Die oplossing wat Lilius voorgestel het, is 'n verfyning van die jaar van 365.25 dae wat oorspronklik deur Ptolemeus III ingestel is. In plaas van die kalender elke jaar aan te pas om die ekwinoks op 21 Maart te hou, word 'n skrikkeljaar elke vierde jaar ingevoer, sodat die gemiddelde lengte van 'n jaar, oor 'n periode van 400 jaar geneem, nagenoeg gelyk is aan dié van 'n tropiese jaar. Lilius het voorgestel dat skrikkeljare elke 4 jaar moet voorkom, behalwe by 'n eeuwending, tensy die eeu deur 400 verdeelbaar is. In hierdie skema was die jaar 1600 en 2000 wel skrikkeljare, maar 1700, 1800 en 1900 was nie. Volgens hierdie reëling bevat 400 burgerlike jare

$$(400 \times 365) + 100 - 3 = 146097 \text{ dae.}$$

Die gemiddelde lengte van die burgerlike jaar is $146097 / 400 = 365.2425$ dae, wat baie na is aan die periode van 'n tropiese jaar. Meer as 3000 jare sal verby moet gaan vir die kalender om net een dag aan te skuif relatief tot die Son. Die Gregoriaanse kalender is die een wat vandag algemeen in gebruik is, en wat verklaar waarom daar in die jaar 2000, vir een maal in 400 jaar, 'n skrikkeljaar is. Die tien dae wat deur Pous Gregory afgeskaf is, het die ekwinoks teruggebring na 21 Maart. Omdat die Kerk van Engeland ("Church of England") reeds weggebreek het van die Katolieke Kerk, was Brittanje nie onderwerp aan die bevel van die Pous nie, en het hulle hulle nie by hul Europese bure gevoeg wat die kalenderhervorming betref nie. Dit was eers in 1752 dat die Britse parlement uiteindelik hul kalender gekorrigeer het deur die 11 dae (een ekstra dag het intussen bygekome sedert Gregory se hervorming) van 3 tot 13 September (onder groot geskille) te elimineer.

Nog 'n geval van die Kerk se invloed op ons kalender het gelei tot 'n ander soort J2K-probleem. In 532 het 'n ab genaamd Dionysius Exiguus (c. 500 – 560) bereken wanneer Christus gebore is, en 'n datumsisteem ingevoer wat hierop gebaseer is en bekend staan as *Anno Domini* (AD), "die jaar van onse Here". Hoewel ander kulture reeds vertrouwd was met die konsep van sero/nul, is dit nie gebruik in Romeinse nommering nie, en daarom het Dionysius die jaar van Christus se geboorte aangedui as AD 1. In hierdie sisteem loop die eerste jaar van AD 1 tot AD 2, die tiende jaar van AD 10 tot AD 11, en die honderdste jaar van AD 100 tot AD 101. Dit beteken dat die tweeduisendste jaar loop van AD 2000 tot AD 2001, en dus dat die derde millennium in hierdie skema eers op 01 Januarie 2001 begin, en nie toe 1999 oorgeslaan het na 2000 nie.

Die werklike jaar van Christus se geboorte is egter vandag steeds 'n kontroversiële saak. Die Evangelie volgens Matteus verkondig dat Hy gebore is in die tyd van Herodus die Grote, wat in 4 v.C. dood is. Die geboorte moes dus voor daardie datum plaasgevind het. Ander Evangelies en geskiedkundige bronne doen datums aan die hand wat wissel van 7 v.C. tot 7 AD, maar die meeste geskiedskrywers neig tot 4 of 5 v.C. As ons die datum as 4 v.C. neem, en dan begin tel van sero af, sal die jaar wat ons AD 2000 noem, in werklikheid AD 2003 wees. In 'n korrek genummerde, historiese konsekwente sisteem, dui 29 Februarie 2000 in werklikheid die eerste skrikkeljaar van die nuwe millennium aan!

8. DIE ERA VAN AQUARIUS

Hoewel die Maart-ekwinoks Υ tans in die sterrebeeld Pisces lê, word dit die Eerste punt van Aries genoem. Die rede hiervoor is dat, toe Υ meer as 2000 jaar gelede vir die eerste keer deur die

Griekse geïdentifiseer is, dit in die sterrebeeld van Aries gelê het, en inderdaad die eerste punt van daardie konstellasie was. Dit het die grens aangedui tussen Aries en sy aanliggende konstellasie Pisces. Die Son het Aries vanuit Pisces binnegegaan op die dag van die Lente-ekwinoks (in die Noordelike Halfrond), die dag wat nou elke jaar rondom 21 Maart voorkom. Vir die volgende maand het die Son deur die konstellasie van Aries beweeg, en dit het rondom 21 April Taurus binnegegaan. Omdat die Son deur die konstellasie van Aries beweeg het gedurende die periode 21 Maart tot 20 April, is Aries die sterreteken vir hierdie periode.

Die Son bereik sy mees noordelike punt op die ekliptika rondom 21 Junie en sy suidelike limiet rondom 22 Desember. Gedurende die Griekse era het die Son pas die konstellasies van Cancer (Kreef) en Capricornus (Steenbok) respektiewelik binnebeweeg. Op die dag van die solstitiums kruis die Son direk bo die breedtegrade wat bekend staan as die keerkringe. Hul benaminge van Kreefskeerkring en Steenbokskeerkring dateer meer as twee millennia gelede.

In die tussentyd het presessie die konstellasies verskuif ten opsigte van die ekliptika. Die solstitiums kom nou voor in Taurus en Sagittarius, en die ekwinokse val nie meer in die tye wat die Son by Aries en Libra binnebeweeg nie, maar wanneer dit in Pisces en Virgo respektiewelik is. Die Maart-ekwinoks is besig om stadig deur Pisces te skuif, en oor omtrent 600 jaar sal dit binne Aquarius wees. Omdat Υ in Pisces lê, word hierdie periode die Era van Pisces genoem, en die volgende Era sal Aquarius wees. Daar is al na die huidige tyd verwys as "the Dawning of the Age of Aquarius" (in 'n liedjie uit die musiekprent "Hair" in ongeveer 1969). Ongelukkig kan kalenderhervorming nie die posisie van Υ tussen die sterre verander nie, en gevolglik moet óf die konstellasiegrense verskuif word, óf ons moet 'n paar eeue wag op die Era van Aquarius. Astroloë ignoreer natuurlik bloot hierdie subtiliteite.

9. SLOTSOM

Die Eerste punt van Aries Υ is die posisie in die hemel waar die Son die hemelse ekwator van suid na noord kruis. Die lente begin in die Noordelike Halfrond wanneer die Son by Υ is, en twee opeenvolgende kruisings van Υ deur die Son definieer die tyd waarna ons verwys as 'n seisoensjaar of 'n tropiese jaar. Omdat 'n tropiese jaar nie 'n heelgetal jare is nie, het die ontwerp van 'n kalender wat die seisoene in pas sou hou met 'n spesifieke datum 'n moeilike probleem geblyk te wees. Presessie skuif die posisie van Υ langs die ekliptika met betrekking tot die agtergrondsterre; die konstellasie waarbinne Υ hom op enige tydstip bevind, definieer die sterrekundige Era. Die tyd wat dit vir Υ neem om 'n volledige omwenteling van die ekliptika te voltooi, is 25 800 jaar. Die antieke Grieke het na hierdie periode verwys as die Groot Jaar, en daar was spekulasie, onder andere onder die Stoïsyne, dat alles in die heelal, met inbegrip van geskiedenis op Aarde, sigself oor hierdie periode herhaal. Aan die einde van die 19de eeu kan 'n weerklank van hierdie idee in Nietzsche se leerstelling van die "ewige terugkeer" teruggevind word.

Die eerste pogings om tyd te meet, is deur landbouers aangewend vir wie dit noodsaaklik was om op hoogte te wees van die verloop van die seisoene. Hulle het kalenders opgestel van klip, en kon tyd daarmee bepaal deur die inlynstelling van die Son en sterre met hul merkers. In baie gevalle het hul tydtoestelle ook gedien as plekke van aanbidding. Duisende jare later is ons kalender ontwerp om die seisoene met spesifieke datums gesinchroniseer te hou, sodat 'n godsdienstige fees gevier kan word in ooreenstemming met bepaalde astronomiese gebeurtenisse.

10. BEDANKINGS

Baie dankie aan prof. J. Heidema vir die aanmoediging om hierdie artikel te skryf en vir sy hulp om dit in druk te kry. Opregte dank aan prof. E. Reynhardt, Dekaan van die Fakulteit Natuurwetenskappe by Unisa, wat die fondse beskikbaar gestel het vir die vertaling van die artikel, en aan dr. Anna-Mart Bonthuys vir die sorgvuldige wyse waarop sy hierdie taak uitgevoer het. Dr. B. Cunow en mnr. J. Wolterbeek word bedank

vir die kommentaar wat hulle gelewer het terwyl die artikel nog in wording was.

11. LITERATUURVERWYSINGS

- Duncan, D.E. (1998). *The Calendar*. (Fourth Estate, London).
- Novikov, I.D. (1998). In *The River of Time* (Cambridge University Press). Die grafitti is deur J.A. Wheeler aan Novikov deurgegee.
- Richards, E.G. (1998). *Mapping time – the Calendar and its History* (Oxford University Press).