

Robinson schoenfabrieken

FRANS VERSCHUUR N.V. NIJMEGEN

Nederlands grootste fabriek van heren- en jongensschoenen vraagt voor de sectie arbeidsanalyse van haar Bedrijfsbureau een

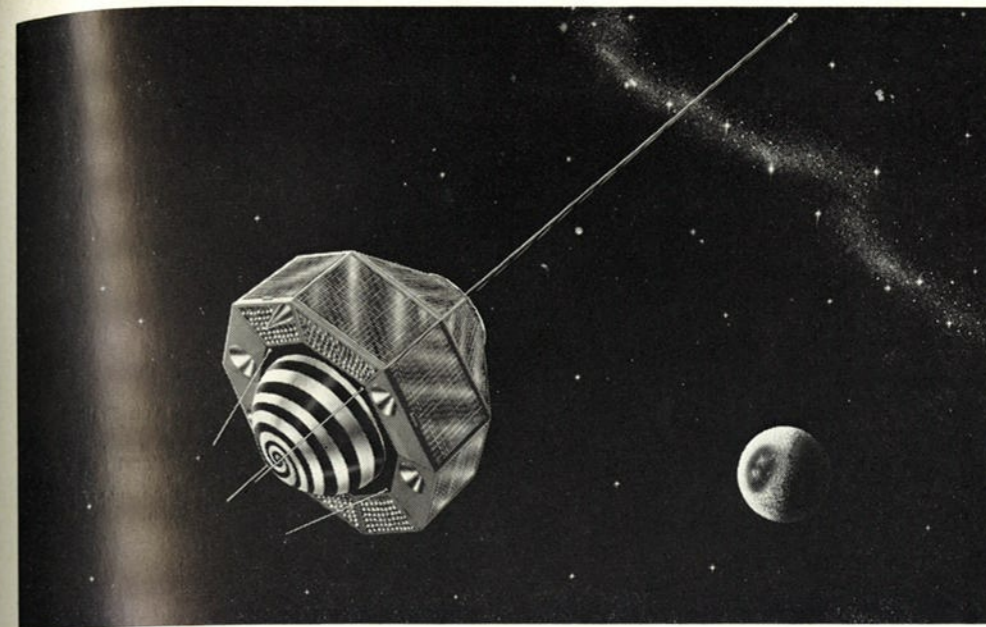
ERVAREN ARBEIDSANALIST

Wij verwachten:

- een enthousiaste jongeman van \pm 25 jaar, die niet terugschrikt voor een flinke hoeveelheid werk en door zijn zorgvuldige werkwijze en tactisch optreden het vertrouwen van anderen kan winnen;
- opleiding op middelbaar niveau;
- enige jaren praktische ervaring (als deze ervaring is opgedaan in de schoen- of confectie-industrie kan dit tot aanbeveling strekken).



Schriftelijke sollicitaties waarin opleiding en ervaring zijn vermeld, gelieve u met recente pasfoto te richten aan de afdeling Personeelszaken van ons bedrijf, Groesbeekseweg 261, Nijmegen.



De eerste zuiver geodetische satelliet van de NASA was de op 6 november 1965 gelanceerde Explorer-29 (GEOS-1), die zowel met vier krachtige lichtbakens als met LASER-reflectoren was uitgerust. Volgend jaar wordt er nog een Explorer gelanceerd.

aardmetingen, vroeger en nu

C. Titulaer

De eerste meting van de aardomtrek

Sedert het moment dat men wist dat de aarde bolvormig was, heeft men de omtrek willen meten en de preciese vorm willen weten. De eerste metingen ter bepaling van de aardomtrek werden uitgevoerd door Erathostenes in 220 voor Christus. Hij had gehoord dat in Syene (het tegenwoordige Assoan) een diepe put was, waar de zonnestralen loodrecht invielen op de langste dag van het jaar. De zon stond daar dan dus precies in het zenith.

Met schaduwwaarnemingen bepaalde hij de plaats van de zon op dat moment uit Alexandrië. De zon bleek daar $7\frac{1}{4}$ graad uit het zenith te staan. Daar Alexandrië en Syene ongeveer op dezelfde meridiaan liggen, is de afstand in hoekmaat, gezien vanuit het centrum van de aarde, ook $7\frac{1}{4}$ graad (zie figuur 1). De gebruikelijke afstandsmaat in die dagen was de „stadium”. Erathostenes wist dat een kameelkaravaan 50 dagen deed over de afstand, met een gemiddelde van 100 stadia per dag.

De afstand tussen beide plaatsen was dus 5000 stadia.

Het is niet precies bekend hoe groot een stadium was, doch waarschijnlijk zijn 5000 stadia 787 km. De uitkomst van Erathostenes is dan verrassend goed: Hij had 791 km als uitkomst moeten krijgen om de tegenwoordig bekende waarde te vinden. De fout in zijn berekening is dus (toevallig?) slechts 0,5%. De wetenschap, die door Erathostenes was grondvest, heet thans geodesie of landmeetkunde.

De methode van Al Mamoen

Al Mamoen was een Arabische khalief; hij bepaalde de omtrek van de aarde als volgt: (zie figuur 2). Hij mat de hoogte van de pool(ster) op een punt in de vlakte van Mesopotamië. Is de hoogte x graden, dan is dat punt ook x graden van de pool op aarde verwijderd. Hij zocht vervolgens een tweede punt, waar de hoogte x+1 graden was. Deze punten liggen

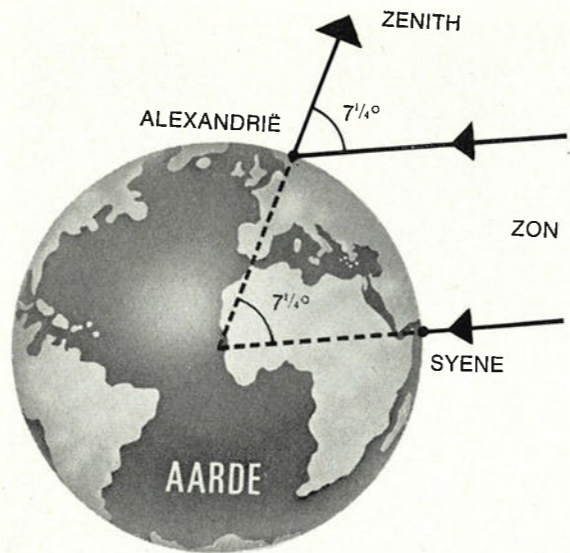


Fig. 1: De methode van Eratosthenes. $7\frac{1}{4}$ graad langs de aardomtrek manifesteert zich als een even groot verschil in de zenithafstand van de zon. In Syene staat de zon precies in het zenith. Voor de duidelijkheid is de hoek sterk overdreven.

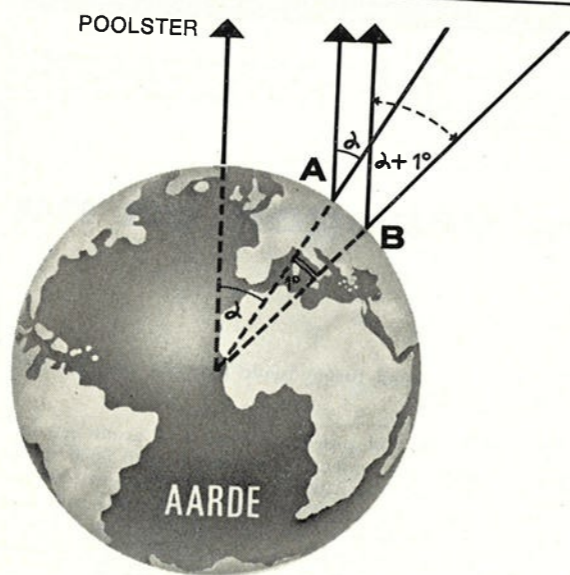


Fig. 2: De methode van Khalif Al Mamoen. Een verschil in hoogte van de poolster van 1 graad is een graad langs de aardomtrek. A en B zijn de plaatsen waar Al Mamoen zijn metingen uitvoerde. Voor de duidelijkheid sterk overdreven.

dan 1 graad uit elkaar. Hij mat de afstand tussen beide punten, en door met 360 te vermenigvuldigen vond hij de omtrek van de aarde.

De methode van Snellius

De grootste fout in de bepalingen van de aardomtrek zat steeds in de afstandsmeting. De hoeken werden al direct veel nauwkeuriger gemeten. Dit werd nog beter toen de kijkers bekend werden, en de hoeken met telescopen (in

dit geval theodolieten) gemeten werden.

Snellius mat zeer nauwkeurig één basislijn en ging, uitgaande van deze lijn, een stelsel driehoeken opbouwen, waarbij alle verdere metingen hoekmetingen waren. Omdat een basislijn werd gemeten, is de driehoek steeds volledig bepaald. Voor de hoekpunten nam Snellius meestal kerktorens. Neemt men bijv. als basislijn de lijn tussen de kerktorens van Leiden en Zoeterwoude (fig. 3). Men moet nu nog de po-

Fig. 3: Het verschil tussen de ellipsoïde en de geoïde manifesteert zich duidelijk bij een berg. Het schietlood zal loodrecht op de geoïde gaan staan, het lijkt aangetrokken door de berg.

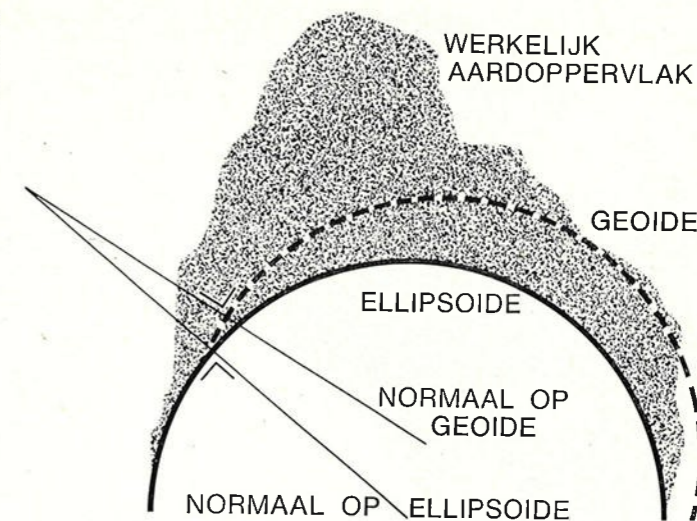
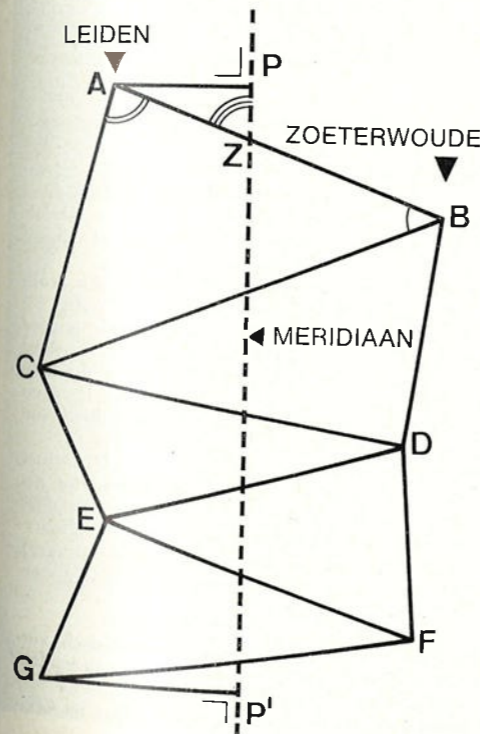


Fig. 4: Het triangulatieprincipe van Snellius. A en B zijn de uiteinden van de basislijn. Met hoekmetingen wordt het net uitgebreid met andere punten (C, D, E, F en G). P en P' zijn de projecties van begin- en eindpunt op de meridiaan.



sitie van het net t.o.v. de meridiaan kennen, dan volgt eenvoudig de lengte van het stuk P'. Aangezien we daarvan ook de afstand tot de pool kunnen meten, volgt eenvoudig de aardomtrek. Snellius maakte een fout van 3%; dit lag niet aan zijn methode (die zeer goed is), maar aan de onnauwkeurige meting van de basislijn.

De vorm van de aarde

De metingen gaan in deze tijd nog steeds door, alleen gebruikt men nu satellieten die in 50 dagen (die Eratosthenes nodig had voor zijn kameelkaravaan) 600 keer om de aarde draaien. Kort na de metingen van Snellius ontdekte Newton de gravitatie van de aarde. Als de aarde werkelijk homogeen was opgebouwd en niet roteerde, zou de vorm kogelrond kunnen zijn. Door de rotatie wordt de aarde echter afgeplat. De werkelijke vorm van het oppervlak is niet met een wiskundige formule te beschrijven; door de bergen en dalen in het oppervlak is de vorm te gecompliceerd.

We voeren daarom het begrip geoïde in. De geoïde is de vorm die vertoond wordt door het oppervlak der oceanen, als deze met een kanalenstelsel zijn verbonden, en doorgedacht wordt onder de continenten. De geoïde is dus een equipotentiaal vlak op niveau-oppervlak. Het verschil tussen de geoïde en het aardoppervlak is erg klein. Stellen we de aarde voor door een



Het baanvlak van een satelliet draait in westelijke richting om de aarde. Dit effect komt voornamelijk door de „verdikking” bij de equator.

bol van een meter, dan is de hoogte van de bergen nog geen millimeter. Van de maan uit zullen we de aarde dus zien als een volkomen bol.

De afplatting van de aarde is gedefinieerd als $\frac{a - b}{a}$

waarbij a de equatoriale straal en b de polaire straal is. Tegenwoordig neemt men voor de afplatting van de aarde de waarde 1/298 aan. De andere waarden zijn:

$$\begin{aligned} a &= 6378,397 \text{ km.} \\ b &= 6356,921 \text{ km.} \end{aligned}$$

Volgens de afplattingstheorie van Newton moest een graad langer zijn, naarmate men van de evenaar af dichter de pool naderde. In de tijd dat Newton zijn ontdekkingen bekend maakte, gaf de Academie van Wetenschappen in Frankrijk aan Picard en Cassini opdracht om de lengte van een graad in het noorden en zuiden van Frankrijk te meten. Zij vonden in 1671 echter precies het tegenovergestelde. Tussen engelse en franse geleerden ontstond nu een levendige strijd over de juistheid van de theorie van Newton.

In 1735 gaf de Academie in Frankrijk weer een opdracht, nu om graadmetingen te doen in Lapland en Peru. De resultaten hiervan waren overtuigend voor de juistheid van de theorie van Newton.

De uitkomsten waren:
de lengte van 1 graad, in Lapland: 57438 toises
in Frankrijk: 57024 toises
in Peru: 56734 toises
(een toise is ongeveer 2 meter).

Rechts: Als een satelliet gelijktijdig vanuit meerdere stations kan worden waargenomen, kan door middel van een ruimtetriangulatie een brug worden geslagen tussen de bestaande netten. Deze triangulaties of driehoeksmetingen zijn gebaseerd op het mathematische principe, dat alle elementen van de driehoek kunnen worden berekend wanneer er op zijn minst drie bekend zijn, waaronder één zijde.

Bij de berekeningen wordt uitgegaan van het feit dat twee grondstations en de positie van de satelliet op een gegeven ogenblik een driehoek in de ruimte vormen. Zich daarop baserend kunnen de onderzoekers van triangulatie tot triangulatie gaan werken om de informatie te verkrijgen die ze op het oog hebben. Er zijn voor hen twee soorten plaatsen: bekend en onbekend. Bekende plaatsen zijn die plaatsen waarvan de coördinaten zuiver zijn vastgesteld, onbekend zijn de plaatsen waarbij dit nog niet het geval is. De grondlijn is de nauwkeurig gemeten afstand tussen twee bepaalde plaatsen op aarde. Wanneer de hoek van de satelliet ten opzichte van deze plaatsen bekend is, kan de grondlijn dienen als basis voor het meten van andere lijnen en afstanden.

Aanvankelijk dacht men dat de geoïde wel de vorm van een ellipsoïde zou hebben, doch door de grote onregelmatigheden in het oppervlak van de aarde (zoals bergen) is er een afwijking van de ellipsoïde t.o.v. de geoïde.

Men ontdekte dat een schietlood bij een grote berg door die berg werd aangetrokken (fig. 3). Het verschil tussen geoïde en ellipsoïde is zeer gering: minder dan 100 meter (in onze aardbol van 1 meter is dat 0,01 mm). Over de hele wereld zijn er sinds de expeditie naar Peru en Lapland metingen verricht op het gebied van graadbepaling en aantrekkingskracht.

De aantrekkingskracht op de pool is kleiner dan aan de evenaar, omdat de afstand tot het centrum geringer is. Lange tijd werden deze metingen uitgevoerd met een slinger; de slinger-tijd is $2\pi\sqrt{l/g}$. (l is de lengte van de slinger). Door l en de slingertijd te meten, kon g worden bepaald.

In 1743 vond Clairaut een mathematisch verband tussen de geometrische afmetingen van de omwentelingsellipsoïde en de dynamische metingen van de gravitatie. Honderd jaar na Clai-

raut ontwikkelde Stokes een methode om de afwijkingen van de geoïde ten opzichte van de omwentelingsellipsoïde te bepalen, door zwaartekrachtmetingen over het gehele aardoppervlak.

De methodes worden dan steeds nauwkeuriger, de hoeken worden op minder dan een hoogsecunde precies gemeten en tegenwoordig krijgt men door gebruik van radar bij de afstandsbepaling een nauwkeurigheid van een op de 200.000. De vraag naar goede kaarten wordt steeds dringender. De moeilijkheid is echter dat de continenten, die elk voor zich goed gemeten zijn, slecht aan elkaar te koppelen zijn.

In 1924 heeft de Internationale Geodetische en Geofysische Unie het begrip „internationale ellipsoïde” aangenomen. Dit was een ellipsoïde-

bepaling uit 1910 door Hayford. De laatste ellipsoïde die met de klassieke methoden werd bepaald, stamt uit 1956 en is van de Army Map Service van het Amerikaanse leger. De naam hiervan is „Hough-ellipsoïde”.

De moderne methode

Alle klassieke methoden worden overboord gezet als de eerste kunstmanen om de aarde gaan draaien. Door de kunstmatige satellieten krijgen we drie volledig nieuwe vormen van informatie ten behoeve van de geodesie.

Op de eerste plaats kunnen we met een veel grotere precisie dan voorheen het zwaartekrachtsveld van de aarde bepalen. De beweging van een satelliet is erg gevoelig voor iedere af-



wijking in het zwaartekrachtsveld van de zuivere ronde symmetrie. Bijvoorbeeld bij een zuiver elliptische geöide zorgt de „verdikking” aan de equator ervoor dat een aardsatelliet op geringe hoogte een draaibeweging gaat uitvoeren, en wel zo dat het baanvlak drie graden per dag verdraait. Aangezien men met fotografische methoden de positie van een satelliet met een nauwkeurigheid van twee boogseconden kan vastleggen, kan de draaibeweging precies bepaald worden, waaruit dan weer de afwijking van het bolvormig symmetrische gravitatieveld volgt.

De hoog boven de aarde draaiende satellieten geven ook de aardmetingen door driehoeksmeting nieuwe mogelijkheden. Hoewel de snelheid van een satelliet ongeveer acht kilometer per seconde bedraagt, kan de satelliet op een zeker ogenblik als VAST punt in de ruimte worden beschouwd. Door de waarnemingen uit verschillende stations gelijktijdig te verrichten, bedrijft men ruimtetriangulatie. Op deze manier is het mogelijk de aardse bestaande triangulatie-netten te koppelen.

De derde nieuwe methode berust op een ingewikkelde combinatie van beide voorgaande. Het komt er in deze methode op aan verscheidene satellieten gedurende langere tijd met veel stations waar te nemen. De baan van de satelliet wordt niet eenvoudig door de wetten van Kepler beschreven, doch ze wordt gestoord door vele factoren. Het is mogelijk al deze elementen in een computer te programmeren en

dan een baan te berekenen. Daarbij gaat men uit van alle waarnemingen en laat men de verschillende storingsinvloeden door de machine in steeds betere benadering berekenen.

Enkele factoren die invloed hebben op de beweging van een satelliet:

- Door de wrijving van de (daar zeer ijle) aardatmosfeer wordt de hoogte geringer, derhalve ook de omlooptijd.
- De aantrekkingskracht van de zon en van de maan oefenen een invloed uit.
- Voor veel satellieten (zoals de Echo, diameter 30 meter, gewicht minder dan 50 kg) is de druk van de zonnestraling van niet te verwaarlozen invloed.

Uit de beweging van de Spoetniks en van de eerste Amerikaanse kunstmaan, de Vanguard I, hebben dr. O'Keefe en anderen gevonden dat de aarde peervormig is. Deze vorm is zo dat het steeltje van de peer aan de noordpool zit en daar zorgt voor een extra verlenging van de aardstraal met 15 meter.

Vanzelfsprekend heeft ook de gewone afplatting van de aarde een invloed op de beweging van de satelliet. Hieruit kan men, minstens even nauwkeurig als met de beste bepaling tot nu toe, de straal van de aarde aan de equator en de pool bepalen.

I. Iszak van het Smithsonian Astrophysical Observatory heeft kort geleden ontdekt dat de evenaar geen cirkel, doch een ellips is. Hij vond dat de straal aan de equator op twee punten langer is: een punt bij de oostkust van

Brazilië, het andere bij Nieuw-Guinea. De vergroting van de lengte zou 200 meter bedragen. Door latere onderzoeken is dat resultaat bevestigd. Er is nog geen geofysische theorie die een dergelijke vervorming van de evenaar kan verklaren.

Mogelijk zijn temperatuurverschillen in het inwendige of nog onbekende dichtheidsvariëaties in de aardkorst hiervan de oorzaak. Ook op de afbeelding van de nu bekende geöide zien we deze elliptischeit van de equator tevoorschijn komen. Deze kaart van Iszak is samengesteld na verwerking van 26.500 nauwkeurige satelliet-waarnemingen. Hiervoor moesten 53.000 vergelijkingen met 38 onbekenden worden opgelost.

Er is tegenwoordig een groot net van stations over de gehele aarde, die zich toeleggen op de waarneming van satellieten, liefst gelijktijdig. Er zijn echter verschillende moeilijkheden:

- Het is in het algemeen niet overal gelijktijdig helder weer (en bij betrokken hemel zijn fotografische waarnemingen onmogelijk).
- Men moet vrij hoog vliegende satellieten hebben, willen ze op veel stations zichtbaar zijn (terwijl ze belicht worden door de zon).
- Het precies gelijktijdig doen van de waarnemingen op de verschillende stations is heel moeilijk.

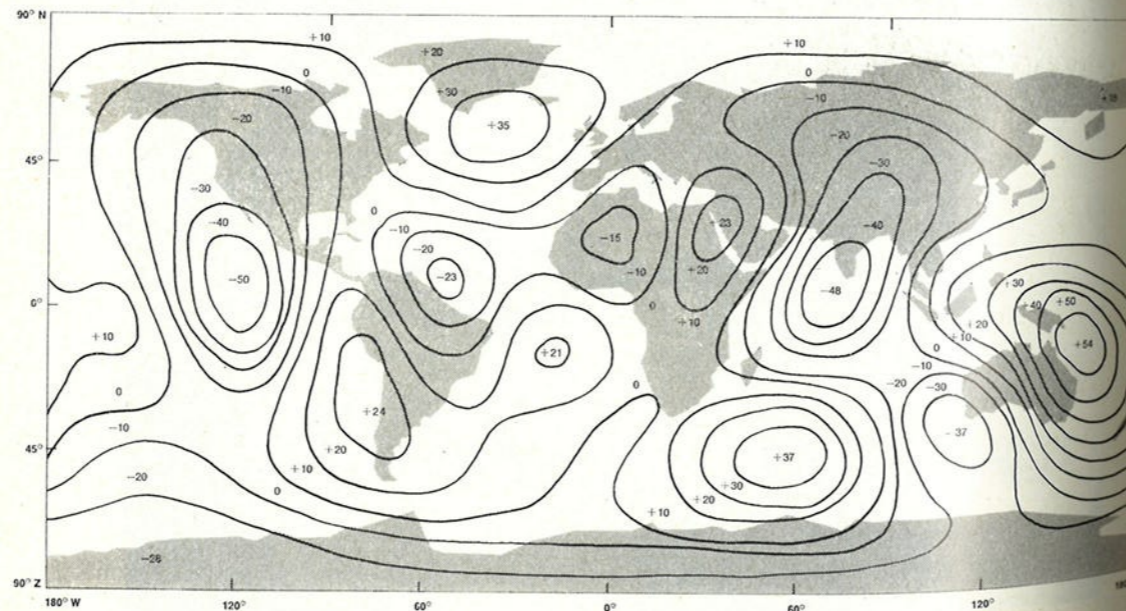
Het laatst genoemde probleem is opgelost bij de Amerikaanse satelliet ANNA, die in 1962 is gelanceerd. Deze satelliet geeft lichtsignalen in de vorm van flitsen, waardoor automatisch de waarnemingen worden gesynchroniseerd. De

satelliet is zeer nuttig gebleken; er zullen er dan ook meer van dit type volgen.

Zeer grondig werd het probleem aangepakt door het Smithsonian Institute met het Baker-Nunn-waarnemingsnet. De naam is ontleend aan een kijkertype (Baker-Nunn) dat hiervoor gebruikt wordt. Langs fotografische weg wordt de positie van de satelliet ten opzichte van de vaste sterren bepaald. Hiervoor moest een catalogus met de posities van 250.000 sterren op ponskaarten en magneetband van een IBM-7090 computer worden gezet. Men kon op deze manier ook de geografische posities van de twaalf waarnemingsstations over de wereld precies bepalen, en die weer koppelen aan het bestaande net op het betreffende continent.

De onderzoekers begonnen met de bepaling van de onderlinge positie van de waarnemingsstations op 20 meter nauwkeurig. Uit de bekende gegevens had men een voorlopige positie gehaald. Deze moest overal 50 tot 100 meter gecorrigeerd worden. Het grootste was de fout tussen Japan en Hawaï, waar 200 meter gecorrigeerd moest worden op de astronomisch bepaalde afstand. Deze fout hangt samen met het cilindkarakter, dat voor een zwaartekracht-anomalie (afwijking) zorgt.

Door de aardsatellieten is er thans een goed geodetisch net over de hele aarde komen te liggen. Veel belangrijke correcties zijn al aangebracht, terwijl tevens het zwaartekrachtsveld beter bekend werd. Dit programma, dat grote internationale betekenis heeft, wordt voortgezet en zal in de toekomst nog belangrijke resultaten leveren.



Links: De geöide naar Iszak. Deze figuur is gebaseerd op 26.500 nauwkeurige satelliet-waarnemingen. De lijnen geven gelijke gravitatie aan. De verschillen zijn gegeven in meters, ten opzichte van een ideale ellipsoïde met een afplatting van 1 : 298,3.

Rechts: Hoewel de reusachtige ballonsatelliet Echo-1 (gelanceerd 12 augustus 1960) in de eerste plaats was bedoeld als passieve communicatiekunstmaan, heeft het gevaarte toch ook uitstekend dienst gedaan als medium bij aardmeetkundige studies en bij onderzoeken naar schommelingen in het zwaartekrachtsveld van onze planeet.

