

In 1991 kwam van de Delftse faculteit Geodesie het voorstel om Nederland uit te rusten met een Actief Global Referentie Systeem (AGRS). Eind 1997 werd het prototype opgeleverd. Dat bestaat uit een netwerk van vijf referentiestationen, die elk in directe verbinding staan met het centrale Global Positioning System-rekencentrum in Apeldoorn. Inmiddels staat vast dat het AGRS belangrijk bijdraagt aan de vernieuwing van de nationale geometrische infrastructuur. Volgens het KNMI is het bovendien 'het meest geschikt' voor GPS-waterdampmetingen, iets dat de auteur van deze bijdrage in 1991 - toen hij met het AGRS-voorstel kwam - zelf niet voor mogelijk had gehouden. Zeven jaren na de geboorte van een idee: de ontwikkeling en toepassingen van een nieuw meetstelsel.

De geometrische vorm van de nationale geodetische infrastructuur - kortweg aan te duiden als de 'geometrische infrastructuur' - dient voor een uniforme en consistente geometrische inpassing van de plaatsbepalingsactiviteiten in Nederland.

De infrastructurele voorzieningen hebben betrekking op de referentiesystemen voor hoogte en situatie, die in onderlinge coördinatie worden onderhouden door Rijkswaterstaat en het Kadaster. De Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat is daarbij verantwoordelijk voor de instandhouding van het nationale hoogtenet op basis van het Normaal Amsterdams Peil, terwijl de Rijksdriehoeksmeting van het Kadaster belast is met het nationale horizontale referentienet.

In toenemende mate wordt bij de verschillende plaatsbepalingsactiviteiten in ons land gebruik gemaakt van ruimtegeodetische technieken, zoals in het bijzonder die van het Global Positioning System. De geodetische toepassing van dit systeem maakt zeer nauwkeurige plaatsbepaling mogelijk voor een grote verscheidenheid van gebruikersgroepen. Hierdoor worden nieuwe en hogere eisen aan de geometrische infrastructuur gesteld. Een aantal jaren geleden is daarom besloten de nationale geometrische infrastructuur te moderniseren.



GPS-antenne op een statief tijdens metingen in het veld. Het doosje op de voorgrond bevat de GPS-ontvanger. De kerktoren op de achtergrond wordt daardoor overbodig als referentie voor meetkundige doeleinden.

Het momenteel in ontwikkeling zijnde Actieve GPS Referentie Systeem zal daarbij een belangrijke bijdrage gaan leveren aan de verankering van deze vernieuwde infrastructuur.

HET GLOBAL POSITIONING SYSTEM

GPS-plaatsbepaling Bij de bepaling van de meetkundige figuur van de aarde was men in het verleden hoofdzakelijk aangewezen op het gebruik van terrestrische hoek- en afstandsmetingen. Met de komst van het Global Positioning System, veelal afgekort tot GPS, is daar drastisch verandering in gekomen. Het sinds 1993 volledig operationele GPS bestaat uit een bijna perfect symmetrische constellatie van in totaal 24 satellieten die, verdeeld over zes baanvlakken, op een hoogte van ongeveer 20.000 kilometer hun baantjes om de aarde trekken.

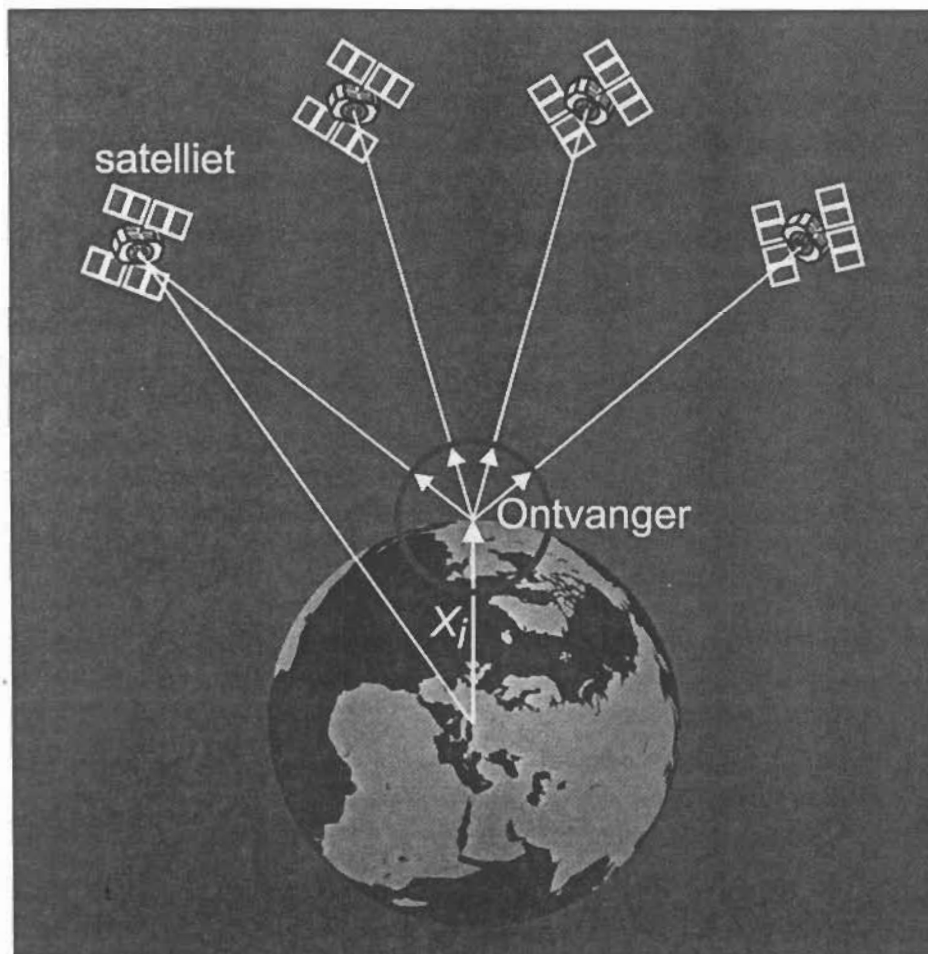
De hoge banen hebben het voordeel dat de satellieten relatief weinig hinder ondervinden van de wrijving van de atmosfeer en van de grilligheden in het aardse zwaartekrachtsveld. De satellietposities zijn hierdoor in de tijd goed te voorspellen, zodat ze voor veel praktische toepassingen als bekend verondersteld mogen worden. De hoge banen maken het, gekoppeld met het aantal satellieten en de gekozen satellietenconfiguratie, tevens mogelijk dat steeds een voldoende aantal satellieten over een groot oppervlak van de aarde simultaan 'zichtbaar' is. Door nu met behulp van een GPS-ontvanger op aarde afstandsmetingen naar een voldoende aantal in positie bekende satellieten te verrichten, is de plaats van de ontvanger in een wereldwijd coördinatenstelsel te bepalen (zie figuur 1).

Nauwkeurige GPS-plaatsbepaling Bij het GPS kunnen twee typen afstandsmeting worden onderscheiden, de looptijdmeting en de fasemeting [1]. Bij het eerste type meting wordt de looptijd gemeten van het door de satelliet uitgezonden signaal.

Vermenigvuldigd met de lichtsnelheid levert dit de afstand tussen satelliet en ontvanger op het moment van meting. Dit type meting is echter vanwege het relatief hoge meetruisniveau minder geschikt voor geodetische toepassingen, waarvoor immers vaak zeer hoge nauwkeurigheidseisen aan de plaatsbepaling worden gesteld.

Het tweede type meting, de fasemeting, is wèl geschikt voor geodetische toepassingen. De fasemeting bestaat uit het meten van het faseverschil tussen het door de satelliet uitgezonden en in de ontvanger gegenereerde signaal. Deze fasemeting kan, op een aantal correcties na, ook als een afstandsmeting naar de GPS-satelliet worden geïnterpreteerd. De hoge meetprecisie van de fasemeting is echter nog niet voldoende om tot een nauwkeurige plaatsbepaling te komen. De door de satellieten uitgezonden signalen zijn namelijk nog behept met een aantal verstoringen als ze door de GPS-ontvanger worden ontvangen. Deze verstoringen zijn onder andere de satelliet- en ontvanger-klokfouten en de vertraging die het signaal ondergaat bij het doorlopen van de atmosfeer. Bij het gebruik van een enkele GPS-ontvanger, ook wel absolute plaatsbepaling genoemd, worden deze onbekende verstoringen direct doorgegeven aan de berekende positie van de ontvanger. In dat geval is er dus nog steeds geen sprake van nauwkeurige plaatsbepaling, ondanks de zeer precieze fasemetingen.

Dit probleem kan nu voor een belangrijk deel worden ondervangen door, in plaats van met een enkele GPS-ontvanger, met twee GPS-ontvangers te werken. Daar beide ontvangers simultaan de uitgezonden signalen van dezelfde satellieten ontvangen, zijn de verstoringen voor beide ontvangers nagenoeg gelijk en worden ze dus voor een belangrijk deel uit het positieverschil, de zogenaamde basislijn, van de twee ontvangers geëlimineerd. Relatieve plaatsbepaling is dus nauwkeuriger dan absolute plaatsbepaling. Door nu één van de twee ontvangers, de zogenaamde referentie-ontvanger, op een in



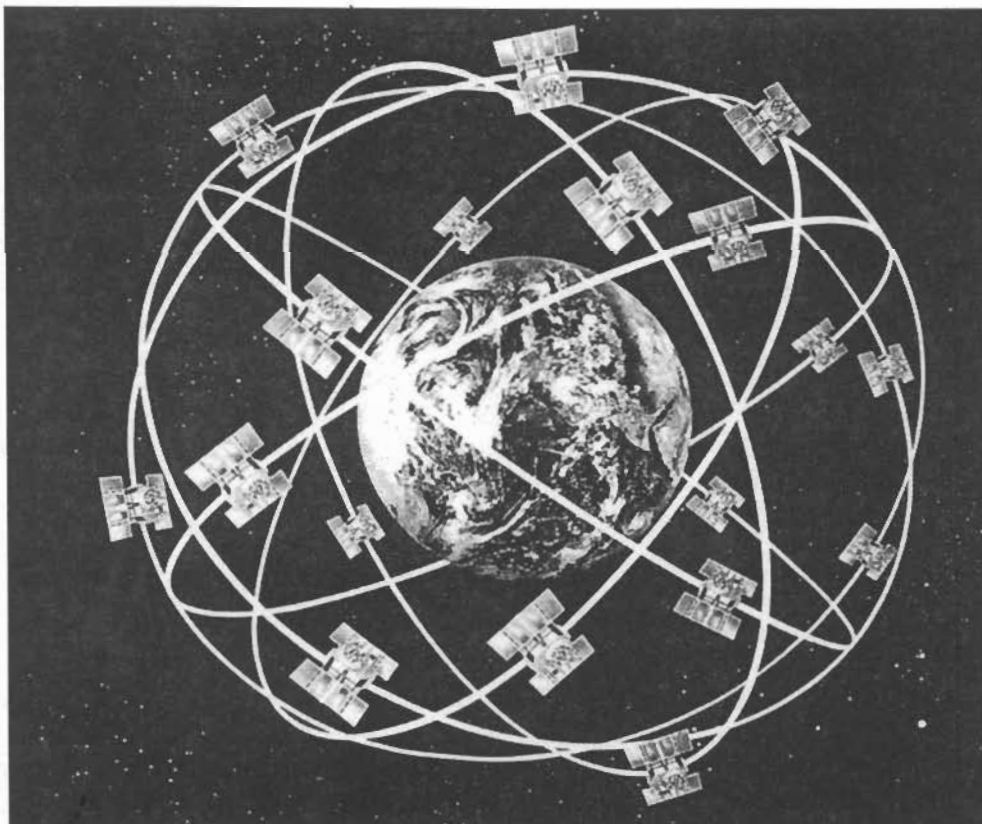
FIGUUR 1: GPS-plaatsbepaling op basis van afstandsmeting.

coördinaten bekend punt op te stellen en de andere ontvanger, de zogenaamde mobiele, achtereenvolgens op verschillende in coördinaten te bepalen punten, kunnen de posities van deze nieuwe punten dus met een hogere nauwkeurigheid bepaald worden, dan mogelijk zou zijn geweest als slechts een enkele ontvanger zou worden gebruikt (zie figuur 2).

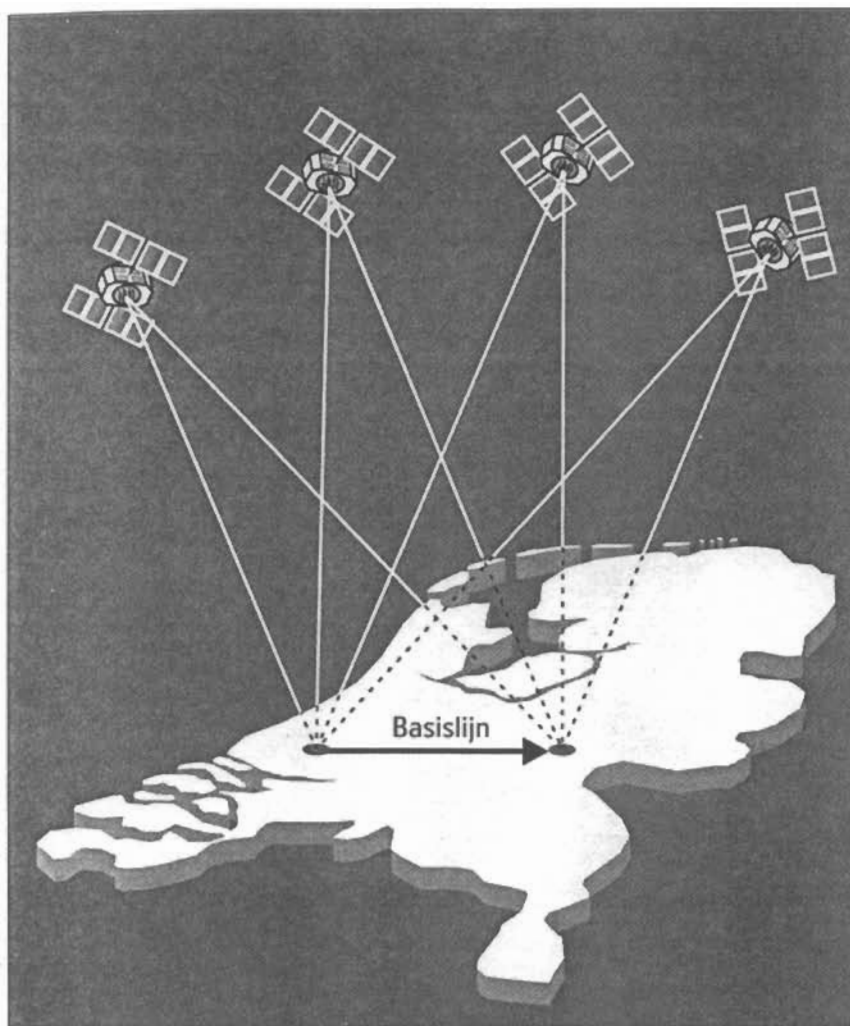
Aansluiting van de GPS-plaatsbepaling De driedimensionale coördinaatverschillen van de twee ontvangers worden in hetzelfde stelsel verkregen als waarin de coördinaten van de GPS-satellieten zijn gegeven, namelijk het World Geodetic System 84 (WGS'84). Voor de verdere toepassing echter, wensen veel gebruikers dat hun plaatsbepalingsresultaten in coördinaten van het nationale referentiestelsel worden uitgedrukt. In Nederland zijn dit het RD- en NAP-stelsel. Het RD-stelsel is een tweedimensionaal, vlak coördinatenstelsel, verkregen door projectie op een kaartvlak van een geheel Nederland bedekkende terrestrische triangulatie. De realisatie in het terrein vindt plaats via zo'n zesduizend RD-punten waarvan de x- en y-coördinaten zijn bepaald door middel van terrestrische hoek- en afstandmetingen. Het vormt daarmee het nationale referentiestelsel voor de horizontale plaatsbepaling.

Het NAP-stelsel is het nationale referentiestelsel voor de verticale plaatsbepaling. Dit door middel van waterpassingen bepaalde hoogtestelsel wordt in het terrein gerealiseerd via meer dan vijftigduizend waterpasbouten, peilschalen en ondergrondse merken. Daar het RD en NAP van origine echter twee gescheiden stelsels zijn, werd het met de intrede van het puur driedimensionale GPS noodzakelijk de terreinsrealisatie van beide stelsels uit te breiden.

Dit heeft er toe geleid dat nu van een groot aantal nieuw gerealiseerde punten zowel de RD- als de NAP-coördinaten bekend zijn, terwijl tevens op deze punten GPS-metingen kunnen worden verricht. Op deze punten is de hemelbol dan ook vrij van obstakels



Constellatie van de 24 satellieten die deel uitmaken van het wereldomvattend GPS-systeem. De satellieten bevinden zich op 20.000 kilometer van het aardoppervlak, daarom zijn ze op een groot deel van het aardoppervlak zichtbaar voor de GPS-ontvangers.

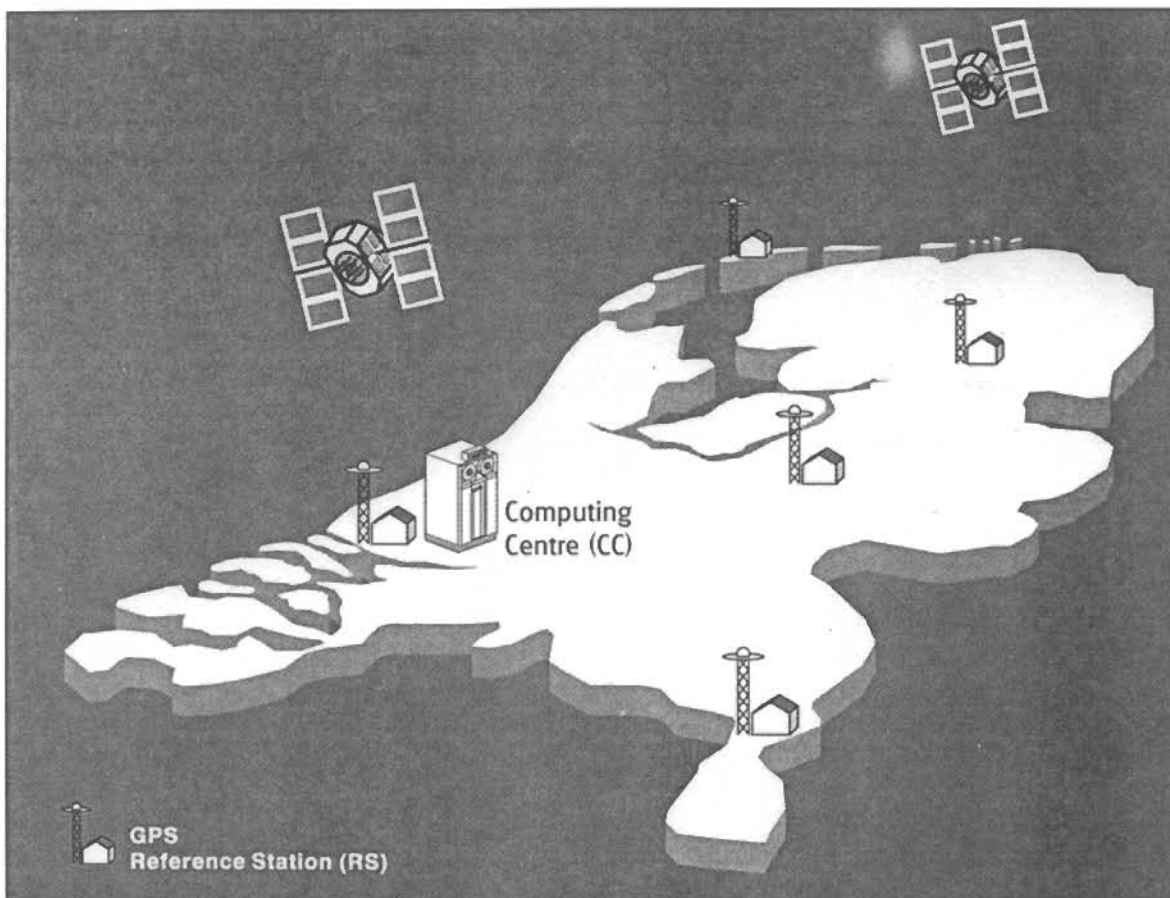


FIGUUR 2: Relatieve plaatsbepaling met twee GPS-ontvangers.

en is de kans op signaalreflecties gering. Met deze nieuw gerealiseerde punten is tevens de transformatie van het mondiale WGS'84-stelsel naar het nationale RD/NAP-stelsel mogelijk gemaakt.

HET ACTIEVE GPS REFERENTIE SYSTEEM De realisatie van het nationale referentiestelsel kan als een passief referentiesysteem worden aangeduid. Immers, hoewel de punten in driedimensionale RD/NAP-coördinaten gegeven zijn en geschikt zijn gemaakt voor het doen van GPS-metingen, zijn het toch de gebruikers zelf die voor de registratie van alle actuele GPS-gegevens met bijbehorende integriteit moeten zorgdragen. In feite verzorgt iedere gebruiker in deze opzet, vanwege het noodzakelijk gebruik van een eigen referentie-ontvanger, zelf een deel van de realisatie van de benodigde referentie. In 1991 heeft de auteur dan ook voorgesteld om ons land uit te rusten met een Actief GPS Referentie Systeem (AGRS). Het voorstel luidde [2-4] om een gelijkmatig over ons land verspreid netwerk van permanent opererende GPS-referentiestationen te installeren, die elk in directe verbinding staan met een centraal rekencentrum, alwaar de verwerking, de analyse, de opslag en de verdere distributie van de data zou kunnen plaatsvinden.

De zorgvuldig uitgekozen en stabiele referentiestationen zouden elk behuisd moeten worden met geavanceerde GPS-ontvangers en computerapparatuur, waarmee dan continu de aan de hemelbol 'zichtbare' satellieten konden worden gevolgd en waargenomen. Originale danwel bewerkte data zou dan door gebruikers van het systeem kunnen



FIGUUR 3: De AGRS-referentiestations.

worden opgevraagd via een 'data retrieval systeem', daarbij onder andere gebruik makend van de mogelijkheden die de 'elektronische snelweg' biedt.

Door gebruikers' over deze gegevens te laten beschikken, zou dan op ieder moment, met een eenvoudiger logistieke ondersteuning en zonder tussenkomst van zelf te installeren referentie-ontvangers, de precieze en betrouwbare plaatsbepaling van nieuw te bepalen punten kunnen worden uitgevoerd. Op deze wijze zou het te ontwikkelen AGRS dus zelf de rol van een landelijke 'digitaliseertafel' kunnen gaan spelen, waarbij dan de GPS-ontvangers van de gebruikers te velde de rol van 'digitizer' krijgen toebedeeld.

Volgend op dit voorstel heeft de Sectie Mathematische Geodesie en Puntsbepaling van de TU Delft, met steun van de Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen, het initiatief genomen de technische haalbaarheid van zo'n systeem te onderzoeken. De resultaten hiervan hebben ertoe geleid dat de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat en het Kadaster zich als partners bij het onderzoek hebben aangesloten, met daarbij als essentiële inbreng de logistieke, financiële en praktische ondersteuning [5]. Inmiddels is de eerste fase in de ontwikkeling van het AGRS afgerond. In oktober 1997 is het prototype AGRS opgeleverd, dat nu door de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat en de Rijksdriehoeksmeting van het Kadaster in onderlinge coördinatie wordt geëxploiteerd. Het prototype bestaat uit een in Delft gelokaliseerd rekencentrum en vijf referentiestations:

- in Delft bij de faculteit Geodesie van de technische universiteit
- in Kootwijk bij het voormalig satellietlaser-observatorium
- in Westerbork bij het observatorium voor radio-astronomie van SRON (Stichting Ruimte Onderzoek Nederland)
- in Eijsden en
- op Terschelling.

