

**KONINKLIJK NEDERLANDS  
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

TECHNISCHE RAPPORTEN

T.R. - 25

P.C.T. van der Hoeven

Bekende punten en richtingen op het KNMI:  
rijksdriehoekspunten, richtingen, peilmerken,  
zwaartekrachtpunten, aardmagnetisme.

De Bilt, 1982

Publikatienummer: K.N.M.I. T.R. 25 (FM)

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut,  
Fysisch Meteorologisch Onderzoek  
Postbus 201,  
3730 AE De Bilt,  
Nederland

U.D.C.: 514

## 1. Rijksdriehoekspunten

De eerste volledige driehoeksmeting is in Nederland in de jaren 1801 t/m 1811 uitgevoerd door den luitenant-generaal baron

Krayenhoff. Deze driehoeksmeting heeft tot grondslag van de topografische kaarten van Nederland gediend en tevens als schakel tussen de in Frankrijk en in Hannover uitgevoerde triangulaties. De uitkomsten van deze metingen zijn verzameld in de in 1815 gepubliceerde en in 1827 opnieuw uitgegeven "Précis historique des opérations géodésiques et astronomiques faites en Hollande pour servir de base à la Topographie de cet Etat". In de tweede helft van de 19e eeuw

werd op initiatief van het Koninkrijk Pruisen een voorstel gedaan tot stichting van een Midden-Europese Graadmeting. In 1865 besloot onze regering, dat Nederland hiertoe zou toetreden. Een grondig onderzoek van Krayenhoff's werk toonde echter aan, dat dit voor het doel van de Midden-Europese Graadmeting niet bruikbaar was en daarom werd prof.dr. F.J. Stankart met de uitvoering van een nieuwe driehoeksmeting belast. Hij heeft hieraan tot zijn dood, in 1882, gewerkt, en de meting nagenoeg voltooid. In 1879 werd de Rijkscommissie voor Graadmeting en Waterpassing ingesteld. Een door deze Commissie, na de dood van Stankart, naar diens werk ingesteld onderzoek leerde, dat dit voor het doel van de Europese Graadmeting onbruikbaar was. De resultaten van zeventien jaren arbeid van Stankart bleken zelfs onder te

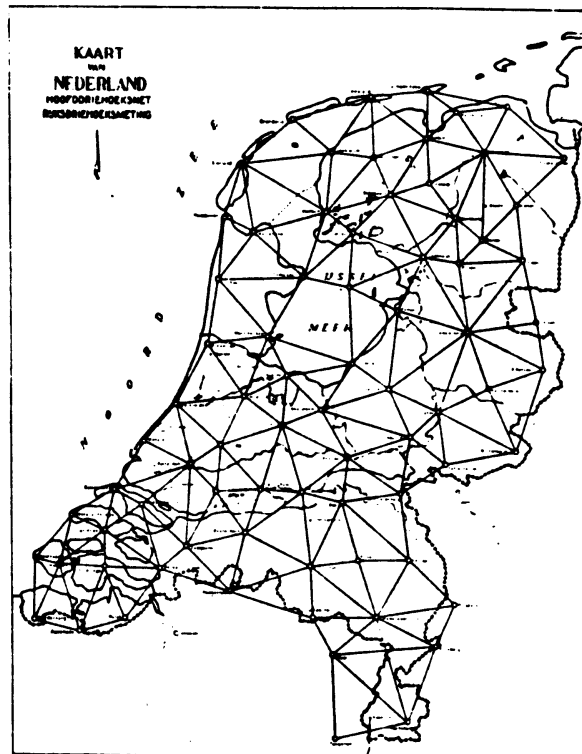


Fig. 1 Rijksdriehoeksmeting. Net van de eerste orde. 1888—1904.

te doen voor die van Krayenhoff en werden in het archief van de Commissie te Delft gedeponneerd.

Onder leiding van prof.dr.Ch.M. Schols begon men daarop in 1885 met de verkenning van een nieuw driehoeksnet van de eerste orde. De metingen hiervoor duurden van 1888 tot 1904. Schols stierf in 1897; zijn werk werd in dat jaar overgenomen, voortgezet en in 1929 voltooid door prof.ir. Hk.J. Heuvelink.

Het gehele net van de eerste orde bestaat uit 119 driehoeken en bevat 78 punten (zie figuur 1). Om de resultaten beter bruikbaar te maken voor landmeetkundige doeleinden, is de primaire driehoeksmeting reeds in het begin uitgebreid, door in het net de bepaling van 102 zg. tussenpunten op te nemen. Deze punten zijn, bijna uitsluitend door voorwaartse insnijding, tegelijk met de meting der hoeken van het driehoeksnet bepaald. Toch is een totaal aantal van 180 punten, d.i. één punt per 190 km<sup>2</sup>, een onvoldoende dichtheid om landmeetkundige diensten de gelegenheid te geven hun metingen aan punten van dit net aan te sluiten. Daarom heeft de genoemde Commissie van 1898 af een secundaire driehoeksmeting uitgevoerd. In 1929 zijn de resultaten gepubliceerd in twee uitgaven van de Rijkscommissie voor Graadmeting en Waterpassing: Rijksdriehoeksmeting 1885-1928 Deel I, Staten van waarnemingen en uitkomsten; Deel II, Rechthoekige Coördinaten. Alle vroegere voorlopige publicaties, zowel die van de primaire, als die van de secundaire driehoeksmeting, zijn hierin opgenomen. De lijst bevat 3732 driehoekspunten.

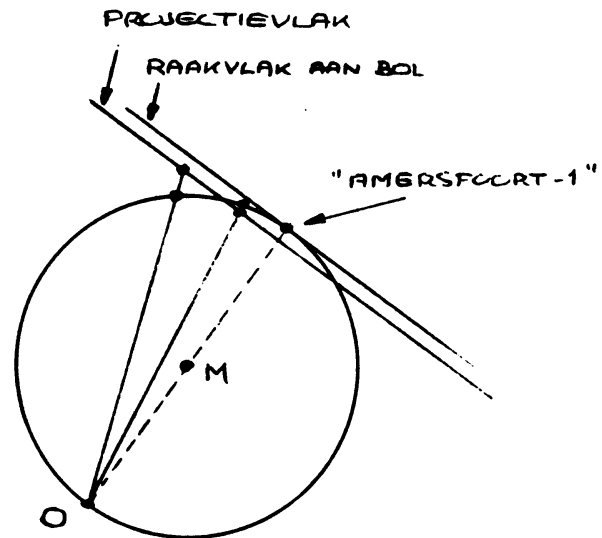
De lengten van de zijden van het Nederlandse driehoeksnet zijn ontleend aan een basismeting bij Bonn, die in 1892 werd uitgevoerd en die door middel van vier driehoeken is verbonden aan de zijde Ubachsberg-Klifsberg van het Nederlandse net. In 1913 is de hieruit voor de Nederlandse zijden afgeleide lengte gecontroleerd door de basismeting bij Stroe, uitgevoerd over een lengte van rond 4320 m, op een recht gedeelte van de Rijksstraatweg tussen Apeldoorn en Milligen. Het resultaat toonde overeenstemming met de uit de Bonner basis berekende lengte, zodat geen correcties aan de lengten nodig waren.

De ligging van het Nederlandse net op aarde is afgeleid uit de in

verschillende hoekpunten van het net uitgevoerde bepalingen van de geografische breedte en van het astronomische azimuth. Door middel van de hoeken en zijden van het driehoeksnet op de ellipsoïde zijn deze waarden herleid tot de breedte van Amersfoort en het azimuth van de zijde Amersfoort-Utrecht.

De rechthoekige coördinaten van alle hoekpunten zijn berekend in de zg. stereografische projectie. Hierbij beeldt men de ellipsoïde eerst conform af op een bol, d.w.z. dat de op de aarde gemeten hoeken onveranderd overgaan als hoeken van het driehoeksnet op de bol. Daarna is de figuur op de bol volgens de stereografische projectie

geprojecteerd op een plat vlak, evenwijdig aan het raakvlak in het centrale punt "Amersfoort-1", zijnde de torenspits van de OLV-kerk aldaar. Men projecteert de afbeelding op de bol daarbij vanuit het diametraal tegenover "Amersfoort-1" gelegen punt  $O$  (zie fig. 2). De coördinaten  $x$  en  $y$  die men voor allerlei herkenbare punten opgeeft zijn de coördinaten van deze af-



Figuur 2. Stereografische projectie.

beelding van de werkelijkheid in dit vlak. Op het centrale punt te Amersfoort ligt het vlak op een "diepte" van 1175 meter minus NAP. Deze ligging is gekozen om, bekeken over het hele land, de vervorming van de afbeelding minimaal te houden. De vervorming bestaat uit een van het centrale punt uit toenemende, en voor elk willekeurig punt in alle richtingen gelijk zijnde fout in de kaartschaal (kan men gemakkelijk inzien a.h.v. fig. 2). Voor het KNMI bedraagt deze fout in de kaartschaal  $-91$  mm/km.

De coördinaten zijn bepaald t.o.v. de oorsprong van het stelsel. Voor de torenspits van de OLV-kerk in Amersfoort werd dit dus  $x = 900$  m (oost) en  $y = 0,00$  m (noord). Om administratieve redenen heeft men dit systeem in 1969 verlaten. Door bij  $x$  een bedrag van

155000 m op te tellen, en bij y een bedrag van 463000 m krijgt men getallen waaraan men direkt zien kan om welke coördinaat het gaat. De x en y bezetten dan namelijk elk een eigen range van positieve getallen en kunnen nooit gelijk zijn.

Inlichtingen omtrent de coördinaten van een punt worden verstrekt door Hoofddirectie van de Dienst van het Kadaster en Openbare Registers, afd. Rijksdriehoeksmeting te Apeldoorn. Men geeft x en y op met een nauwkeurigheid van centimeters.

Van het KNMI kent men de coördinaten van de volgende punten:

Punt 329340-01 (1948)

Stang onder grote windvaan (blijkt oude toren te zijn):

$$x = 140657,63 \text{ m}$$

$$y = 457096,55 \text{ m}$$

Punt 329340-01 (1956)

Stang onder grote windvaan (dit is de oude Dines op de nieuwe toren):

$$x = 140689,43 \text{ m}$$

$$y = 457073,12 \text{ m}$$

Punt 329340-01 (1975)

Stang onder windmeter (Toen de Dines door -de vorige- radar werd verdreven heeft men een aantal jaren met deze opstelling de reeks "torenwind-waarnemingen" pogen voort te zetten):

$$x = 140689,12 \text{ m}$$

$$y = 457070,87 \text{ m}$$

---en op 15 februari 1978 werd ook dit zichtmerk verwijderd. Nu gebeurt het wel vaker dat dergelijke zichtmerken verloren gaan. Om in deze gevallen in staat te blijven om het meetpunt weer te herstellen, brengt men in de omgeving daarvan goed houdbare merk-bouten aan. Op het KNMI zijn twee van deze bouten aanwezig.

Punt 329340-11

Grote bronzen bout in de zuidgevel van de kantinevleugel, op 7,60 m uit de oosthoek en 1,64 m boven de plint (van buiten bekeken is dit links boven het raam van de CANDE-ruimte; e.e.a. toestand 1982):

$$x = 140681,42 \text{ m}$$

$$y = 457063,04 \text{ m}$$

Punt 329340-12

Verzonken bronzen bout met centerpunt, in de opstaande stenen rand van het platform van de nieuwe toren, aan de ONO-zijde:

$$x = 140692,66 \text{ m}$$

$$y = 457072,86 \text{ m}$$

Waarschijnlijk met het oog op beveiliging van de straalverbinding KNMI-NOS tegen afscherming door hoge objecten, heeft men ook nog de coördinaten van de antenne van de parabolische reflector bepaald:

Punt 329340-A

Antenne van de parabolische reflector aan de noordzijde van het torenplatform:

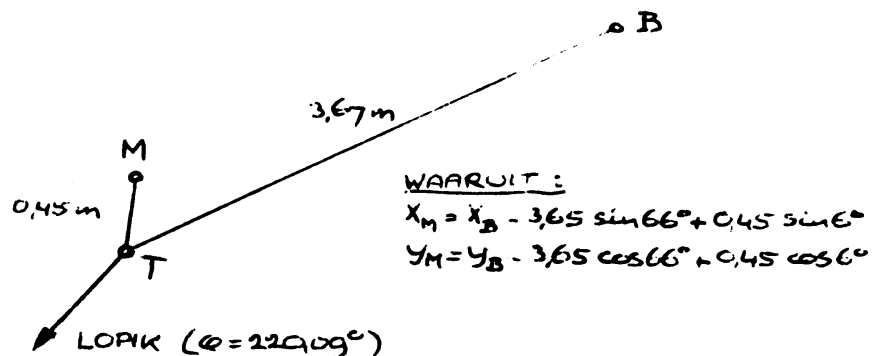
$$x = 140689,83 \text{ m}$$

$$y = 457076,49 \text{ m}$$

Met behulp van een theodoliet, neergezet in punt T, op 0,45 m verwijderd van het midden van het torenplatform M, en op 3,67 m verwijderd van punt B, zijnde de bronzen bout no. 12, werden vanuit de bekende zichtrichting van TV-mast Lopik de volgende noordoriëntaties bepaald:

$$\varphi_{TB} = 66,0^\circ$$

$$\varphi_{TM} = 6,2^\circ$$



Figuur 3. Plaatsbepaling middelpunt toren.

Hieruit volgen de coördinaten van het midden van het torenplatform M:

$$\begin{aligned} x &= 140689,36 \text{ m} \\ & (= 140692,66 - 3,35 + 0,05 \text{ m}) \\ y &= 457071,82 \text{ m} \\ & (= 457072,86 - 1,49 + 0,45 \text{ m}) \end{aligned}$$

Men kan nu, uitgaande van de coördinaten van de bout B, en die van het midden van het platform M, plus nog wat aanvullende maten, een bovenaanzicht van de toren tekenen in het coördinaatnet van Amersfoort (zie bijlage 1; in deze schets werden ook de punten 01-1956, 01-1974 en punt A aangegeven).

Men kan van de punten ook de geografische coördinaten opgeven. Deze gelden voor de zg. "Ellipsoïde van Bessel". Daarvoor is hier ter plaatse van het KNMI de lengte van één lengtegraad (x-richting) gelijk aan 68426,2 m (1 seconde = 19,0 m), en de lengte van één breedtegraad (y-richting) gelijk aan 111398,2 m (1 seconde = 30,9 m).

De geografische coördinaten voor windmeter 1975, die men ook aan kan houden voor het midden van de toren zijn:

$$\begin{aligned} \text{Noorderbreedte} & 52^{\circ} 06' 09,6'' \\ \text{Oosterlengte} & 5^{\circ} 10' 43,5'' \end{aligned}$$

Voor de antenne van de parabolische reflector geeft men op:

$$\begin{aligned} \text{Noorderbreedte} & 52^{\circ} 06' 09,8'' \\ \text{Oosterlengte} & 5^{\circ} 10' 43,5'' \end{aligned}$$



## 2. Richtingen

Voor "Televisietoren IJsselstein", ofwel de 300 m TV toren te Lopik, geeft "Apeldoorn" de volgende coördinaten:

$$x = 132092,70 \text{ m}$$

$$y = 446905,99 \text{ m}$$

Gaat men de richting naar deze TV-toren uitrekenen, dan moet men er rekening mee houden dat van de verticale lijnen (ofwel lijnen van gelijke x) van het kilometernet op de kaart, alleen de lijn door "Amersfoort-1" precies Noord-Zuid loopt. Zou men op de kaart geen lijnen van gelijke x aangeven, maar één of ander stel meridianen, dan zouden die in richting Noordpool convergeren. De meridiaan door de toren van het KNMI helt op de kaart volgens opgave van "Apeldoorn" over een hoek van  $0,13^\circ$  naar rechts. Gezien vanaf het midden van het torenplatform (coördinaten zie vorige par.) wordt de richting  $Q_L$  naar de TV-toren in Lopik dan:

$$Q_L = \arctg \frac{-8596,66}{-10165,83} - 0,13^\circ$$

$$= 220,22^\circ - 0,13^\circ$$

$$\text{ofwel } Q_L = 220,09^\circ$$

De afstand tussen de beide punten bedraagt  $\sqrt{10166^2 + 8596^2} = 13313 \text{ m}$  waarbij dan nog een correctie voor de lijnverkorting t.g.v. de kaartprojectie, bedragende 13,3 maal ongeveer 85 mm/km, dus ongeveer een meter moet worden bijgesteld. Op aarde gemeten is de afstand dus 13314 m. Gaat men nu vanuit het midden van het torenplatform, en gerekend vanaf de zichtrichting naar Lopik over een afstand van  $13314 \cdot \sin 1^\circ = 232 \text{ m}$  dwarsuit, dan verandert de zichtrichting naar Lopik precies een graad.

Op het dak van de nieuwe vleugel werd, vlak langs de ZO-wand van de toren kijkend ( $\sim 2,5 \text{ m}$  buiten de hartlijn langs) de hoek bepaald tussen de zichtrichting van de TV-toren te Lopik en een keurig recht van voor tot achter doorlopende naad tussen de daktegels. Deze hoek

was  $-23,90^\circ$ . Voor het feit dat ongeveer 2,5 m ZO van het midden langs de toren gekeken werd, moet  $0,01^\circ$  bij de zichtrichting van Lopik opgeteld worden. De oriëntatie  $Q_V$  van de lange as van de nieuwe vleugel ("bouwphase III") bedraagt dan

$$Q_V = Q_L + 0,01^\circ - 23,90^\circ \pm n.180^\circ$$

waaruit

$$Q_V = 196,20^\circ$$

of  $Q_V = 16,20^\circ$

De lengte van de nieuwe vleugel is binnen een procent nauwkeurig gelijk aan 100 m. Over deze lengte beschrijft een hoek van een graad een boog van 1,74 m. En omdat de uitrichting van de gevels en de daktegels op centimeters nauwkeurig bepaald zijn, is het gebruik van honderdste graden bij het opgeven van de richting bepaald niet onverantwoord.

De lange gevels van de hoofdvleugel van "bouwphase II" kunnen geacht worden evenwijdig aan die van de nieuwe vleugel te lopen.

Het is wel aardig om hier nog te vermelden dat men vroeger in verband met de magnetische waarnemingen bijzonder secuur geweest is met richtingsbepalingen. Het voormalige "paviljoen voor absolute bepalingen" bij de fietsenloods was vroeger een geheel gesloten gebouwtje, met alleen ramen in de serreachtige uitbouw. In de centrale ruimte had het alleen boven de zes meetplaatsen nauwe verticale lichtschachten door het platte dak heen. De ramen van het uitbouwtje kon men in hun geheel in de kruipruimte omlaag laten zakken. Vanaf twee op een eigen fundering staande stenen "peilers" in het midden van die uitbouw kon men dan met een theodoliet de voor breedte en richtingsbepaling noodzakelijke astronomische waarnemingen doen. Om het dagelijkse routinewerk te vereenvoudigen werden in de noordwand van de centrale kamer een viertal smalle kijksleuven aangebracht (nog steeds aanwezig, ze zien er uit als kabeldoorgangen). Vanaf elk van de zes apart gefundeerde stenen peilers in deze centrale kamer kon men door één of twee van deze gleuven uitrichten op een zg. "mire". Dit is een steen met een drietal smalle verticale groeven. Eén zit er nog op de oude toren, nog juist zichtbaar buiten de aansluiting van de westgevel van "bouwphase I". Ook vanuit het

"paviljoen voor registreringen" (nu "donkere paviljoen"), kon men door de geopende toegangsdeuren heen op deze mire richten. Een tweede mire moet nog ergens in het gebouw voor Geofysica achter een pleisterlaag zitten; vermoedelijk bij de aansluiting van de van later datum zijnde serreuitbouw van de meest oostelijke kamer.

Bij het bekijken van situatieschetsen van het KNMI is het prettig om te weten dat de oriëntatie van de buitenmuren van het seismologisch paviljoen precies oost-west en noord-zuid is.

### 3. Peilmerken

Reeds eeuwen, voordat men zich interesseerde voor de reliëfvorm van de gehele aarde, had men behoefte aan vastgestelde hoogten in beperkte gebieden. Zodra op enigszins systematische wijze dijken werden aangelegd, stelde men de hoogte van de kruinen boven de hoogst bekende rivierstanden of stormvloeden vast. Zo ontstonden talrijke plaatselijke peilen, waarbij men er natuurlijk nog niet aan dacht, deze op het ideale nulvlak -de geoïde- te betrekken. Enige hiervan leven thans nog voort; we noemen Amsterdams peil, Winschoter peil, Rotte peil, Fries Zomer peil. Van al deze peilen is het Amsterdams peil (A.P.) het meest verspreid. Vooral door de aanleg van spoorwegen was het omstreeks 1860 tot in Nassau, Oost- en West-Pruisen, Westfalen en Luxemburg overgebracht. Ondanks serieuze onderzoekingen is het tot heden niet gelukt, de datum van invoering van dit peil precies vast te stellen. Vermoedelijk dateert het (onder de naam "de Peyl") reeds van voor 29 augustus 1624, toen op last van het Hof in Den Haag "een zekere peyl aan de Spaarnedammer dijk en te Amsterdam aan de Nieuwe Brugge werd gesteld". Het gebruik van dit peil, waarvan de naam omstreeks 1670 wordt veranderd in "stadspeil", is dan echter nog niet algemeen. Toen dit stadspeil ook meer buiten Amsterdam werd gebruikt, werd deze naam geleidelijk verdrongen door "Amsterdams peil". Beide namen werden nog lange tijd door en naast elkaar gebruikt.

Uit dagelijkse peilschaalwaarnemingen, verricht van 1 september 1683 tot 1 september 1684, is vastgesteld, dat de gemiddelde vloed 1,8 mm beneden Stads- of Amsterdams peil bleef.

Als vaststaand kan dus worden aangenomen, dat het oorspronkelijk de bedoeling is geweest, dat het Amsterdams peil overeen zou komen met de gemiddelde zomervloedstand van het Y te Amsterdam, toen dit nog in open verbinding stond met de voormalige Zuiderzee.

In 1684 werd dit A.P. vastgelegd met behulp van in enige Amsterdamse sluizen ingemetselde dijkspeilstenen. Deze peilstenen, welke thans nog aanwezig zijn in de Eenhoornsluis, Nieuwebrugsluis en Kraansluis, zijn marmeren platen met een horizontale groef, waarin het opschrift "Zeedijks Hooghte zijnde negen voet 5 duym boven Stadtspeijl", is aangebracht. En daar de Amsterdamse voet 28,313 cm lang is en 11 duimen telt lag het AP dus 2,67689 m beneden deze groeven. Van

1797 tot 1812 werden door generaal Krayenhoff uitgebreide waterpassingen langs de grote rivieren uitgevoerd, die werden aangesloten aan het Amsterdams peil. Dit is eigenlijk de eerste systematische waterpassing van een geheel land.

Op het Europese geodetische congres -"Konferenz der Europäischen Gradmessung",- in oktober 1867 te Berlijn gehouden, werden eisen voor primaire waterpassingen vastgesteld. Daarna werd in Duitsland een uitgebreid net gewaterpast. Als vergelijkingsvlak hiervoor werd het Amsterdams peil gekozen, voornamelijk omdat dit -zoals hiervoor vermeld- reeds in Pruisen en andere Duitse landen veelvuldig werd gebruikt. In 1874 richtte de Pruisische regering tot de onze het verzoek, een lijn van Salzbergen tot Amsterdam te mogen waterpassen, teneinde haar waterpassing aan het Amsterdams peil te kunnen aansluiten. De Nederlandse regering was zozeer doordrongen van het wetenschappelijk en praktisch belang van de uitvoering van de besluiten van bovengenoemd internationaal congres, dat ze haar volle medewerking toezegde en zich bereid verklaarde de waterpassing op Nederlands gebied zelf ter hand te nemen. Hieruit werd de eerste Nederlandse nauwkeurigheidswaterpassing geboren, die van 1875 tot 1885 -aanvankelijk onder leiding van Cohen Stuart en na diens overlijden in 1878 door de Rijkscommissie voor Graadmeting en Waterpassing- werd verricht. Op Duits verzoek werden de Nederlandse en Duitse netten op verscheidene punten aangesloten, hetgeen ook de nauwkeurigheid van de overbrenging van het A.P. zeer ten goede kwam. Bovendien werd het Belgische Ostende peil op enkele plaatsen verbonden aan het primaire hoogtenet, dat over Nederland werd gelegd. In Pruisen heeft men het Amsterdams Peil in 1897 de naam Normal Null gegeven, onder welke naam het thans in geheel Duitsland wordt gebruikt. Ook in Nederland heeft men na de eerste nauwkeurigheidswaterpassing een wijziging in de naam A.P. gebracht. Bij de in 1875 aangevangen nauwkeurigheidswaterpassing waren te Amsterdam nog vijf dijkpeilstenen aanwezig, waarvan de horizontale groeven vrijwel op dezelfde hoogte bleken te liggen. Uit deze vijf punten werd toen een gemiddelde hoogte bepaald en het Amsterdams peil voor de waterpassing 1875-1885 werd aangenomen te liggen op 2,67689 m beneden dat gemiddelde.

Aan het oude Amsterdams peil is dus niets veranderd. Bij de overbrenging van het oude A.P. werden echter dikwijls niet onbelangrijke fouten gemaakt. Daardoor was het mogelijk, dat het vlak, dat men in enkele streken als A.P. aanhield, belangrijk afweek van het A.P. te Amsterdam.

Van ouds bekende punten die in de nauwkeurigheidswaterpassing werden opgenomen, bleken daardoor soms niet minder dan 20-30 cm lager te liggen, dan tot dusverre was aangenomen. Omdat het technisch niet goed mogelijk was, alle bekende hoogten te corrigeren (dit liep over te veel verschillende diensten) werden de bij de nauwkeurigheidswaterpassing gevonden hoogten in de eerste uitgave der hoogteregisters, waarin oude en nieuwe merken door elkander voorkwamen, aangeduid als hoogten t.o.v. N.A.P. of voluit t.o.v. Normaal Amsterdams Peil. Het peil is dus niet veranderd; de aanduiding A.P. heeft alleen betrekking op waterpassingen verricht vóór 1875, N.A.P. op de waterpassingen na 1875. Op de peilmerksteen dd. 14 april 1897 in de buitenmuur van de oude toren van het KNMI staat zodoende aangegeven dat het midden van de horizontale groef op 4,724 + N.A.P. ligt.

In januari 1982 heeft de "Dienst-N.A.P.", een onderdeel van de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat (Delft), bij een waterpassing een kleine omweg langs het instituut gemaakt. Hierbij werd het peilmerk van 1897 weer aangemeten, werd links onder het peilmerk een N.A.P.-bout in de muur aangebracht, en werden ook de hoogten van de twee zwaartekrachtenpunten (zie par. 4) bepaald. De hoogten t.o.v. NAP geeft men op in tiende millimeters. De uitkomsten zijn:

Nummer	Omschrijving	hoogte t.o.v. NAP
32C203	Peilmerk in oude toren dd. 14 april 1897	+ 4,7196 m
32C202	Bout, links onder peilmerk in hoeksteen van oude toren	+ 3,8823 m
20	Zwaartekrachtenpunt, midden van onderste platte steen op rechter leuning van de trap naar voordeur oudste deel gebouw	+ 3,7878 m
30	Zwaartekrachtenpunt, midden granieten tafel voor meest linkse raam in baroksterkelder oude gebouw (ijkpunt Veningh Meinesz)	+ 2,7269 m

Uit deze metingen zou blijken dat de oude toren in de afgelopen 85 jaar 4 mm verzakt is. Dit kan zeer wel waar zijn. In 1916 werd de oorspronkelijk houten bovenbouw van de toren namelijk vervangen door een stelling van gewapend beton. De fundering kan zich daaraan hebben moeten aanpassen.



#### 4. Zwaartekrachtspunten

Op het KNMI hebben we om twee redenen vrij veel te maken met de versnelling van de zwaartekracht.

De eerste reden is dat (de geodeet) prof. Vening Meines het KNMI in de dertiger jaren internationale faam bezorgde met zijn zwaartekrachtmetingen op de oceanen. Het KNMI is daarom nog steeds één van de "primaire punten" in het landelijk net van zwaartekrachtspunten. Mensen van Shell komen hier bv. geregeld de instelling van hun gravimeters controleren.

De tweede reden is dat op het KNMI van het prille begin af gewerkt wordt met kwikbarometers.

Wil men hier de gemeten kolomlengte kunnen herleiden tot die, die men onder de "normaalzwaartekracht"  $g_n$  zou hebben gemeten, dan moet men eerst  $g$  op de meetplaats zelf weten. Voor nauwkeurige luchtdrukmetingen geldt dan als beste oplossing: laat  $g$  opmeten.

In Nederland worden deze metingen uitgevoerd door de Afdeling Geodesie van TH-Delft. Vroeger bepaalden men  $g$  via een slingerproef. Voor kleine uitwijkingen geldt:

$$g = \left(\frac{2\pi}{\tau}\right)^2 \cdot L \quad \text{m/s}^2$$

waarin

$\tau$  de slingertijd in seconden

$L$  de effectieve lengte van de slinger in m  
(bij een opgehangen puntmassa is  $L$  de lengte van de draad).

Hoewel men op middelbare scholen met deze formule reuze leuk uit de voeten kan is die proef toch gemakkelijker verklaard dan uitgevoerd, want gaat men hier op miljoenste laten, dan wordt alles buitengewoon moeilijk. Nu zijn in de gravimetrie de zgn. relatieve bepalingen veel gemakkelijker dan absolute bepalingen. Het principe is: kijk wat een gevoelige veerbalans (of een gegeven slinger) doet in



een punt  $s$  met een bekende  $g_s$  en gebruik het aldus geijkte instrument voor de bepaling van  $g$  op andere punten. Voor de niveaubepaling van het geheel kan men zich dus beperken tot slechts enkele uitverkoren primaire bepalingen. Heel Europa heeft op deze manier van 1924 tot 1971 "gehangen" aan een in 1930 tot standaard verheven stel precisie-metingen te Potsdam uit het jaar 1906. Na een aantal herleidingen tot deze Potsdam-standaard, gecombineerd met de uitkomsten van eigen metingen van Vening Meinesz, was men rond 1950 van mening dat voor de granieten tafels aan de westzijde van de barometerkelder van het KNMI moest gelden:

$$g = 9,812680 \text{ m/s}^2 \quad . \quad (1950)$$

Potsdam systeem

Het spreekt bijna vanzelf, dat men al kort na 1930 merkte dat die Potsdam-standaard toch niet helemaal goed was, maar omdat het de geodeten, geofysici en mijnbouwers (i.v.m. zaken als bepaling van de vorm van geoiden en voor de delfstofopsporing) vooral te doen is om anomalieën, liet men deze standaard met rust zolang er niet iets wezenlijk beters beschikbaar was. De doorbraak ontstond in de zestiger jaren, toen atoomklokken en interferometers nieuwe technieken mogelijk maakten. De bewegende spiegel van de interferometer (een prisma) wordt daarbij in een luchtledige cylinder verticaal omhoog geschoten en men meet zowel voor opgaande als neergaande beweging de looptijd tussen twee vastgestelde hoogten. Hieruit volgt  $g$ . Het instrument is dermate "overgevoelig", dat de vaste spiegel van de interferometer (ook een prisma) moet worden ingebouwd in de arm van een langperiodische seismometer om de invloed van microseismen te kunnen compenseren. De uitkomst van deze proeven was dat de standaardwaarde te Potsdam 140 miljoenste  $\text{m/s}^2$  te hoog bleek. In november 81 werden op het KNMI door afd. Geodesie van TH-Delft metingen verricht. De uitkomst was dat de voor  $g$  in de barometerkelder in te vullen waarde 135 miljoenste  $\text{m/s}^2$  lager bleek te zijn dan de waarde die men in 1950 liet gelden.

Op het KNMI is nu op twee punten, aan te duiden met de term "zwaartekrachtspunten", de  $g$  bekend. De punten zijn gemerkt met een koperen plaatje.

#### Zwaartekrachtspunt 1

Het midden van de onderste horizontale steen op de rechter leuning van de stenen trap naar de voormalige voordeur van het oude gebouw (bij kamer 3):

$$g = 9812541 \text{ } \mu\text{m/s}^2$$

#### IGSN-71

Hoogte  $H = 3,788 \text{ m} + \text{NAP}$

Hoogteverschil met bout in oude toren:  $\Delta H = 0,094 \text{ m}$

#### Zwaartekrachtspunt 2

Het midden van de granieten tafel bij het meest westelijke raam van de barometerkelder (op deze tafel regelde Vening Meines zijn gravimeter af voor hij ermee op reis ging):

$$g = 9812545 \text{ } \mu\text{m/s}^2$$

#### IGSN-71

Hoogte  $H = 2,727 \text{ m} + \text{NAP}$

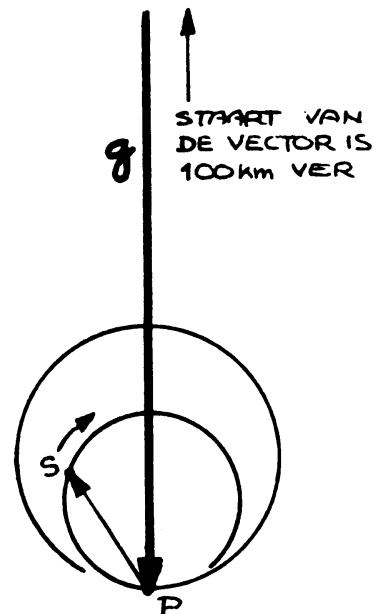
Hoogteverschil met bout in oude toren:  $\Delta H = -1,155 \text{ m}$

De afkorting IGSN-71 staat voor International Gravimetry Standardization Net-1971. Dit is de opvolger van het "Potsdam-systeem" van 1930.

De versnelling van de zwaartekracht is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tot het middelpunt van de aarde. En daar punt 2 ruim een meter dicht bij dat middelpunt ligt is  $g$  daar ook een paar miljoenste  $\text{m/s}^2$  groter. Overigens stelt deze laatste decimaal niet al te veel voor. Ook zon en maan hebben een zwaartekrachtveld. De totale kracht

die deze hemellichamen op de aarde uitoefenen uit zich in een kromming van de aardbaan. De bijbehorende centripetale versnelling heft deze krachten volledig op. Het punt is echter dat de aarde een significante diameter heeft. Bij de naar de maan (of zon) toegekeerde kant is de aantrekkingskracht wat groter dan het gemiddelde, en diametraal daarvan wat kleiner dan het gemiddelde. Hier in De Bilt met de aarde meedraaiend komt deze van het gemiddelde afwijkende maan- (of zon-) aantrekkingskracht tot uiting in een kleine storing van het eigen zwaartekrachtveld van de aarde. De verticale component daarvan heeft een tweemaaldaagse gang van gemiddeld 3 miljoenste  $m/s^2$ .

Men realiseert zich hier even waarover men praat (zie figuur 4): Stel de  $g$  van het aardse zwaartekrachtveld voor door een vector van 100 km lengte. De storing bestaat dan uit een tweemaaldaags vanuit P rond-draaiend vectortje S dat met zijn punt een gecompliceerd cirkelfiguurtje volgt, met ruwweg de hiernaast aangegeven vorm en grootte. En dit minieme storinkje is dan de kracht die de getijbeweging veroorzaakt. De tweemaaldaagse gang in  $g$  veroorzaakt name-



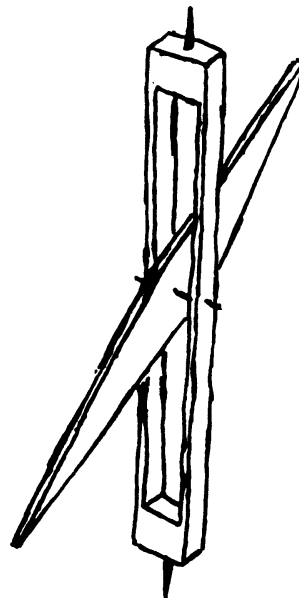
Figuur 4. Getijdewerking

lijk een navenante tweemaaldaagse gang in het soortelijk gewicht van een paar duizend km dik pakket van aardse gesteenten. Dit is genoeg om het aardoppervlak hier in De Bilt tweemaaldaags een decimeter of twee (op lagere breedte wat meer) op en neer te laten veren. En relatief gezien klotst er dan over deze langzaam deinende aardkorst een dun laagje oceaانwater, en een vliedun laagje noordzeewater wat heen en weer.

Bij GO registreert men de variatie van de zwaartekracht. Deze registraties tonen alle bijzonderheden die men ook van water-getijden kent, als springtij, doodtij, dagelijkse ongelijkheid, enz. enz.

### 5. Richting en sterkte van het aardmagneetveld

Indien men een slanke en goed uitgebalanceerde staafmagneet zodanig ophangt dat deze in alle richtingen vrij kan draaien (fig. 5), dan stelt hij zich in De Bilt in onder een hoek van  $67^\circ$  met het aardoppervlak. Deze hoek wordt inclinatie genoemd. In horizontale projectie wijst de duikende zijde van de naald op dit moment (1982) ongeveer  $3^\circ$  west van het noorden. Deze "miswijzing" wordt declinatie genoemd. De veldsterkte van het magneetveld bedraagt in De Bilt momenteel vrijwel 0,48 Oersted, of ook 48000 nT (nano Tesla).



Figuur 5. Vrij opgehangen magneetnaald

Kwesties rond eenheden zijn hier overigens vrij onoverzichtelijk. Als electromagnetische eenheid van inductie werd tot voor kort de GAUSS (G) gebruikt. In 1896 is 1 gamma =  $1 \gamma = 10^{-5} \text{G}$  internationaal geaccepteerd als praktische eenheid voor alle aardmagnetische waarnemingen. Het is een erg prettige toevalligheid dat deze in de praktijk zo bruikbaar gebleken gamma in het SI-stelsel overeen bleek te komen met 1 nano Tesla. Men kon dus na aanpassing van de naam van de eenheid gewoon op de oude voet doorgaan.

Nu is het zo dat een magnetisch veld dat in lucht of vacuum een e.m. inductie van 1 Gauss verwekt (en dat is hetgeen men waarneemt), aldaar een veldsterkte van 1 Oersted bezit. Dit gaf aanleiding om de begrippen e.m. inductie en e.m. veldsterkte en ook de Gauss en de Oersted als min of meer synoniem te beschouwen en argeloos door elkaar heen te gebruiken.

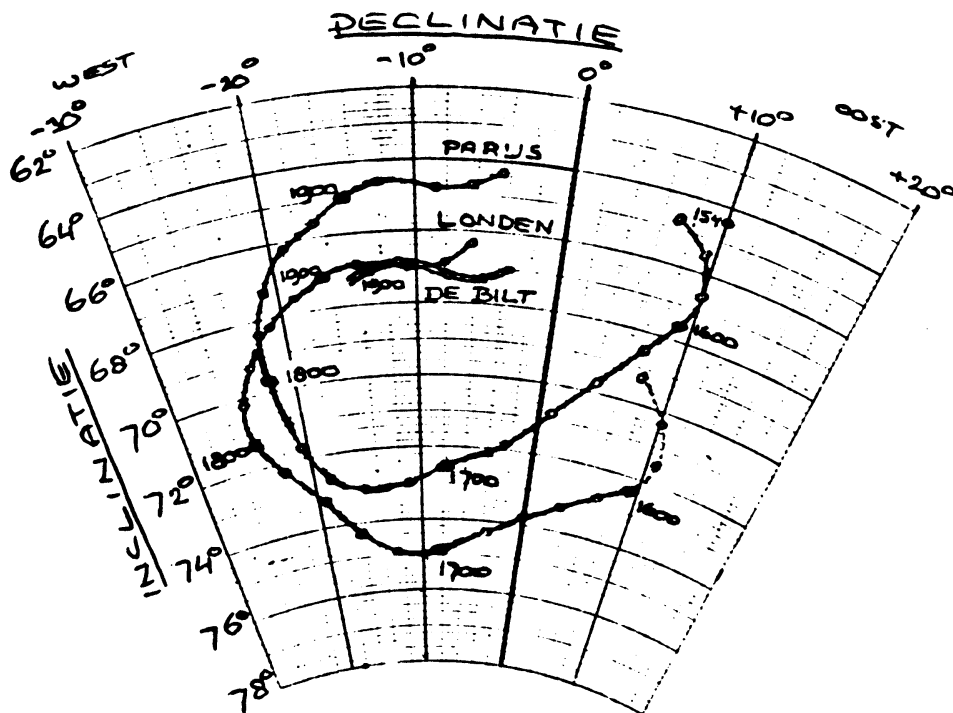
Een simpele manier om de veldsterkte  $V$  te meten is om de magneetnaald van fig. 5 in slingering te brengen ("jakkicken") en de slingertijd  $T$  te bepalen. IJkt men de naald op een punt met bekende veldsterkte  $V_n$ , waarbij men slingertijd  $T_n$  waarneemt, dan geldt:

$$V = (T_n/T)^2 \cdot V_n$$

Op soortgelijke manier kan men met een goedkoop compasje de horizon-

tale component van de veldsterkte (H) te verkennen (naald "neen" laten knikken). Men kan zo bijvoorbeeld gemakkelijk waarnemen dat H in de bunker onder de nieuwe vleugel wat kleiner is dan buiten.

Hoewel de oorsprong van dit magneetveld diep in het inwendige van de aarde ligt, blijkt het toch veel minder stabiel te zijn dan men op grond van zijn diepe oorsprong wellicht zou verwachten. Kijkt men alleen naar de afgelopen eeuwen, dan blijkt vooral de voor de navigatie zo belangrijke declinatie het meest variabel te zijn geweest.



Figuur 6. Aardmagnetisme 1540-heden.

In figuur 6 zijn voor de langjarige meetreeksen van Londen en Parijs en voor de meetreeks 1891-heden van Utrecht-De Bilt-Witteveen (zie ook bijlage 2), voor elk tijdstip de declinatie uitgezet tegen de gelijktijdig waargenomen inclinatie. De declinatie die ten tijde van Columbus ongeveer  $5^{\circ}$  oost geweest is, werd rond 1580 ongeveer  $10^{\circ}$  oost, in 1670 nul, in 1810 ruim over de  $20^{\circ}$  west, en loopt sindsdien weer langzaam terug naar nul. De inclinatie is in deze hele periode ongeveer

8° op en neer gegaan. Dit zijn overigens nog maar kleinigheden, want kijkt men op geologische tijdschaal, dan komt men ook nog rond honderd "ompolingen" tegen, waarbij de magnetische noord- en zuidpool op aarde van plaats verwisselden. Al deze grootschalige en trage variabiliteit wordt "seculaire variatie" genoemd.

Daarnaast treft men nog een heel scala van kleinere storingen aan, waarvan de oorzaak meestal buiten de aarde ligt. Van klein naar groot gaande komt men de volgende zaken tegen:

- "pulsaties" met een periode van enkele seconden tot ruim een minuut, met veldsterkteveranderingen van enkele nT. Ze lijken samen te hangen met electromagnetische trillingen in de exosfeer (grotere perioden) of in de ionosfeer (hele kleine perioden).
- een "dagelijkse gang", die al hinderlijk groot is, met veldsterkteveranderingen van enkele tientallen nT, en declinatieveranderingen van plus en min 0,1°.
- onregelmatige variaties met veldsterkteveranderingen van gemiddeld enkele honderden nT, en met een duur van ongeveer een uur. Overeenkomstig hun verschijningsvorm in de registratie wordt dit soort storingen "baai" genoemd. In vele gevallen kon worden vastgesteld dat ze veroorzaakt werden door een sterke elektrische stroom in de poollichtgordel.
- "magnetische stormen", die optreden wanneer de aarde getroffen wordt door een door de zon bij een uitbarsting uitgestoten gaswolk. De veldsterktevariaties zijn meestal enkele honderden nT, maar kunnen in uitzonderlijke gevallen oplopen tot meer dan duizend nT. Magnetische stormen blijken 15 tot 35 keer per jaar voor te komen. In tijdvak 1970-1981 (12 jaar) kwamen 308 "erkende stormen" voor. Bij 193 daarvan bedroeg in Witteveen de variatie in de declinatie 0,5-0,9°, 17 keer 1,0-1,9°, en 1 keer ruim 2° (8 maart 1970).
- Wijzelf kunnen er overigens ook wat van. Sinds de elektrificatie van het spoorwegnet veroorzaken in de grond uitwaaiende zwerfstromen bij de lijnen langs Bilthoven en Bunnik op het KNMI zeer frequent storingen die honderden nT kunnen bedragen, met declinatieveranderingen

tot een graad. Dit is véél te veel om hier in De Bilt registreringen te kunnen maken die nog wat voorstellen.

Dit laatste was de reden waarom men met deze metingen medio 1938 uitweek naar Witteveen. De daar hemelsbreed 10 km verwijderde spoorlijn Hogeveen-Assen veroorzaakt tot heden geen al te grote problemen. De storingen bleven beperkt tot enkele nT.

### Referenties

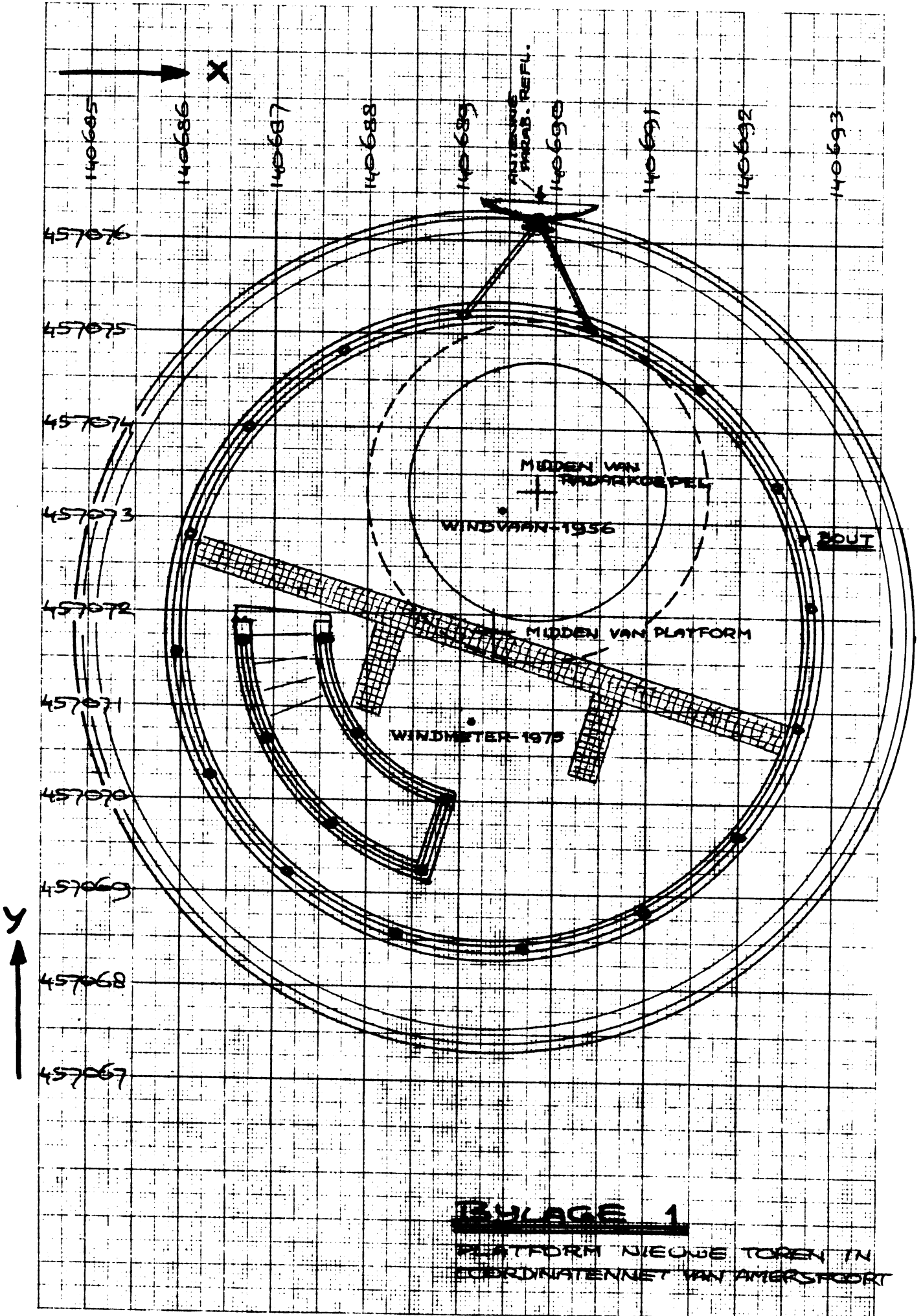
Het verhaal van de moeizame opbouw van het Nederlandse Rijksdriehoeksnet en de niet minder bewogen geschiedenis van het NAP werden overgenomen uit het in de jaren vijftig en zestig gangbare Leerboek der Landmeetkunde van Schermerhorn en Van Stenis, resp. blz. 284-287, 85-88.

Alle kennis omtrent de vroegere toestand van het KNMI en gegevens van de beide paviljoens voor magnetische waarnemingen zijn afkomstig uit Mededelingen en Verhandelingen 1 (toestand 1900) en 1a (toestand 1921). Hierin worden gebouwen en uitrusting van het KNMI beschreven.

Voor de paragraaf handelend over het aardmagneetveld in De Bilt kon de tekst grotendeels ontleend worden aan de zeer begrijpelijk geschreven AULA-paperback Geofysica van prof. Veldkamp.

De reeks aardmagnetismewaarnemingen van Parijs werd overgenomen uit figuur 24 van Het Magnetisch Aardveld van A. de Vuyst (KMI-België), en die van London uit The Direction of the Earth's Magnetic Field at London 1570-1975 van Malin en Bullard (Phil.Trans.of R. Soc. of London). De reeks Utrecht-De Bilt-Witteveen en de gegevens over magnetische stormen werden geleverd door GO.





## Astronomische Urecht-De Bilt

Jaarboek P 1938	Declinatie	Inclinatie	Sterkte Oersted	Declinatie	Inclinatie	Sterkte	Declinatie	Inclinatie	Sterkte	
1891	-14,62°	67,25°	0,4746	-11,23°	66,87°	0,4683	1951	-6,24°	67,31°	0,4711
1892	-14,58	67,23	0,4747	-11,03	66,88	0,4681	1952	-6,11	67,31	0,4714
1893	-14,48	67,20	0,4748	-10,87	66,87	0,4680	1953	-5,98	67,30	0,4716
1894	-14,35	67,17	0,4746	-10,64	66,87	0,4678	1954	-5,87	67,29	0,4719
1895	-14,26	67,12	0,4742	-10,42	66,89	0,4678	1955	-5,76	67,29	0,4721
1896	-14,16	67,07	0,4736	-10,22	66,92	0,4678	1956	-5,66	67,29	0,4724
1897	-14,09	67,05 κ	0,4736 κ	-10,02	66,93	0,4678	1957	-5,56	67,29	0,4728
1898	-13,99	67,03	0,4737	-9,82	66,95	0,4679	1958	-5,48	67,29	0,4730
1899	-13,91	67,03	0,4741	-9,63	66,97	0,4679	1959	-5,41	67,28	0,4733
1900	-13,84	66,95	0,4726	-9,44	67,00	0,4680	1960	-5,33	67,27	0,4737
1901	-13,77	66,90	0,4723	-9,26	67,01	0,4680	1961	-5,24	67,26	0,4739
1902	-13,71	66,88	0,4723	-9,07	67,03	0,4682	1962	-5,16	67,24	0,4741
1903	-13,62	66,87	0,4725	-8,89	67,04	0,4682	1963	-5,09	67,23	0,4744
1904	-13,55	66,84	0,4719	-8,72	67,06	0,4684	1964	-5,01	67,21	0,4746
1905	-13,47	66,82	0,4717	-8,54	67,08	0,4687	1965	-4,95	67,20	0,4748
1906	-13,40	66,91	0,4734	-8,39	67,11	0,4689	1966	-4,89	67,19	0,4750
1907	-13,32	66,85	0,4721	-8,20	67,13	0,4692	1967	-4,84	67,18	0,4753
1908	-13,21	66,80	0,4710	-8,04	67,15	0,4694	1968	-4,79	67,19	0,4756
1909	-13,11	66,81	0,4711	-7,91	67,19	0,4677	1969	-4,75	67,15	0,4760
1910	-12,98	66,79	0,4705	-7,76	67,21	0,4680	1970	-4,71	67,13	0,4764
1911	-12,83	66,77	0,4701	-7,60	67,23	0,4682	1971	-4,65	67,11	0,4767
1912	-12,70	66,77	0,4701	-7,46	67,24	0,4686	1972	-4,58	67,09	0,4771
1913	-12,54	66,76	0,4696	-7,31	67,26	0,4688	1973	-4,50	67,08	0,4775
1914	-12,38	66,77	0,4694	-7,15	67,27	0,4691	1974	-4,41	67,07	0,4779
1915	-12,21	66,79	0,4691	-7,01	67,28	0,4693	1975	-4,31	67,06	0,4782
1916	-12,05	66,81	0,4689	-6,85	67,31	0,4696	1976	-4,19	67,04	0,4785
1917	-11,90	66,83	0,4688	-6,72	67,32	0,4698	1977	-4,06	67,03	0,4788
1918	-11,74	66,84	0,4686	-6,60	67,32	0,4701	1978	-3,93	67,04	0,4791
1919	-11,57	66,85	0,4684	-6,49	67,33	0,4705	1979	-3,79	67,04	0,4793
1920	-11,41	66,86	0,4682	-6,36	67,32	0,4708	1980	-3,65	67,04	0,4795

Mittveven, herleid naar De Bilt

1981

BYLAGE 2

Astronomische Urecht-De Bilt