

# Ijkbasis Loenermark, van instrument tot monument (2)

In verband met de aanwijzing door de gemeente Apeldoorn, op 14 februari 2008, van de ijkbasis in de Loenermark als gemeentelijk monument werd in een eerdere bijdrage (Geo-Info 2008-7/8) aandacht besteed aan de planning en de aanleg. In dit artikel wordt aandacht gevraagd voor de rol van de basis daarna en voor de oorzaken waardoor hij geodetisch in onbruik raakte.



*dr.ir. L. Aardoom, emeritus-hoogleraar  
Satellietgeodesie, TU Delft.*

*dr.ir. H. Quee, voorzitter NCG-sub-  
commissie Geodetische Infrastructuur  
en Referentiesystemen*

**A**l in december 1957, dus kort na de meting van de basis door de Finse geodeten Kukkamäki en Honkasalo, beraadde de RCG zich over het beheer en het gebruik ervan. De basis zou alleen voor bijzondere metingen mogen worden gebruikt en er moest rekening mee worden gehouden dat veelvuldig gebruik de handhaving van de behaalde nauwkeurigheid niet ten goede zou komen, een overweging die in 1960 zou leiden tot de inrichting van een afgeleide basis voor praktisch gebruik, zoals voor de ijking van invarraden. In afwachting van een definitief reglement voor het gebruik van de basis kreeg de Bijhoudingsdienst der Rijksdriehoeksmeting (RD) van het Kadaster voorlopig het beheer, wat daadwerkelijke metingen betreft, in overleg met de RCG.

In februari 1958 was de Dienst der Hydrografie met vier invarbanden de eerste klant, in dezelfde tijd dat Publieke Werken te Amsterdam met succes een beroep op de RCG deed om een invardraad te mogen ijken. Minder succesvol, was de Engelse dr. K.D. Froome, die voorjaar 1958 de Nederlandse Landmeetkundige Federatie benaderde om de be-

schikking te mogen krijgen over een op de basis geijkte meetband. Volgens de RCG was zulk gebruik van de ijkbasis niet voldoende wetenschappelijk. Anders lag dat met de ijking van de invarraden waarmee in 1960 de Duitse, 7,2 km lange, basis bij Meppen - net over de grens bij Emmen - werd hermeten en waarmee in 1965 langs de Afsluitdijk de lengte van een 24 km lange nieuwe basis voor het RD-net werd bepaald, ter vervanging van de basis bij Stroe, op haar beurt in 1913 gemeten ter vervanging van de Duitse basis bij Bonn uit 1892. De basis Stroe tussen Amersfoort en Apeldoorn lag sinds jaar en dag onder de bestrating en het asfalt van de N344 en was daardoor ontoegankelijk geworden. De basismeting langs de Afsluitdijk had plaats in het kader van een vernieuwing van het RD-net, gewenst in verband met de verenigde Europese vereffening, RETrig (Réseau Européen de Triangulation). De basishermeting bij Meppen vormde een onderdeel van de Duitse bijdrage aan RETrig.

Om, zoals vermeld, de ijking van de invarraden te vergemakkelijken was in 1960 op 4,5 m evenwijdig aan de primaire basis een 'invardraadbasis' aangelegd, met kleine betonnen pijlers op 0, 288 en 576 m voorzien van zogenaamde Jäderin-bouten als meet-

*Bij de 0-pijler van de invardraadbasis (situatie 2008).*



merken; daartussenin werden om de 24 m (de lengte van de draden) houten paaltjes geplaatst, waarin vóór de ijking de te gebruiken Jäderin-bouten konden worden geschroefd. In verband met de ijking van de invardraden voor de metingen op de Afsluitdijk werden deze paaltjes in 1964 vervangen door betonnen exemplaren met 'fittingen' voor Jäderin-bouten. De aanleg van de 'invardraadbasis' was gewenst, omdat - anders dan bijvoorbeeld bij de Nummela-basis in Finland - de ondergrondse merken 'onder', in plaats van 'naast' de (primaire) pijlers waren aangebracht, hetgeen het praktisch gebruik van die vastleggingen bemoeilijkte.

Ten behoeve van de ijking van EDM-apparatuur had de Onderafdeling der Geodesie van de TH Delft najaar 1958 de 0-, 288- en 576-pijlers van de primaire basis van speciale boutjes voorzien en de Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat (MD) was kort daarna waarschijnlijk de eerste 'klant' die daarvan met zijn nieuwe Tellurometer gebruik maakte. Zoals in ons vorige artikel vermeld klopte dr. Froome van het NPL in 1967 bij de RCG aan met het idee zijn Mekometer III op de Loenermark-basis te beproeven. Bij die gelegenheid zou hij ook, onder veldomstandigheden, de lichtsnelheid in lucht bepalen, maar financiële overwegingen - de basis zou moeten worden uitgebreid met een extra pijler en Froome vroeg om personele hulp en andere faciliteiten - stonden de uitvoering van de voor april 1970 geplande metingen in de weg. Froomes verzoek was wel een extra argument geweest om de basis in 1969 te laten hermeten. Ijking van de elektro-optische afstandmeters die het Kadaster ten behoeve van de RD had aangeschaft, leidde in 1980 tot de definitieve overdracht van het beheer van de basis aan die dienst.

De ijkbasis plaatste de directe omgeving in de Loenermark ook meer algemeen in de geodetische aandacht. Zo bood prof.ir. G.F. Witt (planologische geodesie), na overleg met de RCG en de gemeente Apeldoorn, de geodetische gemeenschap in 1966 voor de ijking van optische afstandmeters in de Loenermark een proefveld waarvan de punten door voorwaartse insnijding waren bepaald vanuit de ijkbasis. Weliswaar bepaalde de MD in 2002 nog de hoogte van zeven rond de basis

*Onbeschermde Jäderinbout in de 0-pijler van de invardraadbasis (situatie 2008).*



geplaatste ondergrondse merken, maar omdat die ná de Tweede Nauwkeurigheidswaterpassing van 1926-1940 werden geplaatst, kunnen die merken, hoewel verankerd in een geologisch stabiel stuk Nederland, niet worden benut voor de borging van het NAP.

### Lengtemeting per seconde, het einde van de interferentiebases

Nauwkeurige elektro-optische afstandmeting had anno 1980 in de geodesie de rol van de hoekmeting voor een belangrijk deel overgenomen. Dat was ook het geval bij de RD. EDM bepaalde inmiddels niet alleen de scháál van driehoeksnetten, maar ook de vorm. Invardraden en -banden waren, mede door de omslachtigheid van het meten daarmee, in onbruik geraakt en de ijkbasis Loenermark diende alleen nog - overigens belangrijk genoeg - voor de ijking van de EDM-apparatuur, zoals Geodimeters in eigentijdse, voor veldgebruik ontworpen uitvoering. In de vorm van laserafstandmeting had de EDM inmiddels ook haar intrede gedaan in de satellietgeodesie en daar in de wijdmazige ruimtelijke driehoeksnetten de fotografische richtingsmeting verdrongen naar een rol waarbij die hoogstens nog diende voor de oriëntering. De EDM, hetzij in terrestrisch-landmeetkundige, hetzij in ruimtelijke satelliet-geodetische toepassing, steunde op de veronderstelde invariantie van de lichtsnelheid in vacuüm ( $c$ ) als natuurconstante en het beschikbaar komen van transportabele en in het veld bruikbare frequentiestandaarden in de vorm van stabiele oscillatoren. In het open veld was de lichtsnelheid wel niet precies gelijk aan  $c$ , maar afwijkingen daarvan als gevolg van het medium (refractie) konden gaandeweg beter worden gemodelleerd of geëlimineerd.

*Over 24 bijna rechte kilometers bood de Afsluitdijk tussen de Stevin- en Lorentzsluizen een unieke gelegenheid voor een nieuwe schaalbepaling van het RD-net (bron: [www.eendijkvaneendijk.nl](http://www.eendijkvaneendijk.nl))*





Cultuur in de natuur: de ijkbasis Loenermark als Apeldoorns monument (2008).

Dr. E. Bergstrand, niet denkend in termen van lengteverhoudingen, was zich ervan bewust dat EDM zou staan of vallen met de bekendheid van de waarde van  $c$ . Daarom had zijn vroege werk met de Geodimeter, in de jaren '40 van de vorige eeuw, in belangrijke mate, zo niet primair, de bepaling van  $c$  ten doel. In het kort geschreven, moduleerde hij zichtbaar licht met een bekende frequentie  $f$  en bepaalde hij de golflengte  $\lambda$  van die modulatie door meting op een ijkbasis van bekende lengte  $d$ . Gecorrigeerd voor refractie, volgde lichtsnelheid  $c$  dan uit  $c = f\lambda$ . Naarmate de frequentiestabiliteit van de oscillatoren (aanvankelijk kwartsklokken) verbeterde, kon door metingen als

deze de nauwkeurigheid van de c-bepaling worden opgevoerd tot de in 1973 door de International Council of Scientific Unions aanbevolen waarde van  $299\,792\,458 \pm 1,2$  m/s (standaardafwijking). Omdat, onafhankelijk daarvan, de lengte van de seconde ( $s$ ) inmiddels was gedefinieerd als een exact aantal periodes van eigentrling van het cesium-atoom (atoomtijd in plaats van astronomisch bepaalde tijd), kon de lengte van de meter ( $m$ ) in 1983 reproduceerbaar worden vastgelegd als  $1 / 299\,792\,458$  'lichtseconde': de afstand die licht in vacuüm aflegt in één seconde, te weten in de tijd van  $9\,192\,631\,770$  van voornoemde atomaire trillingen. Deze keuze met  $c$  en  $s$  als de primaire grootheden, die ook geldt in de geodesie, zowel op aarde als via de ruimte, bezegelde na de afschaffing van de invardraden het lot van de Väisälä-bases, op de Loenermark en elders.

Met geodetische afstandmeting teruggebracht tot tijdmeting en tijdmeting tot frequentiemeting, bepaalt de in EDM-apparatuur ingebouwde oscillator in essentie de schaal en de nauwkeurigheid. Daar de oscillator af-fabriek wordt ingesteld - een langetermijn-stabiliteit van  $1:10^7$  is daarbij allang geen probleem meer - is ijking op bases als die in de Loenermark overbodig geworden en hebben die bases ook dáárvoor geen functie meer. Voor zover, zekerheidshalve, periodieke controle gewenst is, kan die 'in huis' worden uitgevoerd, hetzij door de gebruiker, hetzij in een door de leverancier daarvoor ingericht laboratorium.

Ingevolge de beheersoverdracht door de RCG aan het Kadaster maakte de Afdeling RD van eind 1980 tot begin 2003 ter controle van haar EDM-apparatuur nog gebruik van de basis, waarbij met name de optelconstanten van de ingebouwde prisma's - gezamenlijk resulterende in een potentiële 'nulpuntsfout' - werden bepaald. Deze ijking wordt sedert 2003 voor de RD in het laboratorium van Leica Geosystems uitgevoerd. De laatste jaren daarvoor werd de basis slechts gebruikt voor steekproefsgewijze controle op het uitbestede periodieke onderhoud van de apparatuur. De Landmeetkundige Afdeling van Gemeentewerken Apeldoorn had voor de ijking van haar tachymeters na de jaren '70 al geen gebruik meer gemaakt van de basis.

### Eenheid van lengte uit het laboratorium en via de ruimte

Door de herdefinitie van de meter in 1983 werd afstandmeting ( $l$ ) teruggebracht tot (loop) tijdmeting ( $\tau$ ):

$$l = c\tau, \quad (1)$$

waarbij de in verband met de gebruikelijke heen- en terugmeting in te voeren factor  $1/2$  hier korthedshalve is weggelaten. Met  $c$  als invariante schaalfactor zouden, althans in vacuüm, voortaan nadrukkelijk lengteverhoudingen worden gemeten.

Zonder op de details van afzonderlijke EDM-apparatuur in te gaan, wordt  $\tau$  gemeten met een in het apparaat opgenomen klok, gestuurd door een gepast stabiele frequentie  $\nu$ :

$$\tau = n/\nu, \quad (2)$$

met  $n$  het aantal trillingen (periodes) in de tijd dat het betreffende elektromagnetische signaal (bij EDM gewoonlijk een modulatie van de draaggolf) over het in lengte te meten traject  $l$  onderweg is. Onderdelen van  $n$  worden daarbij gemeten door fasevergelijking van het uitgezonden signaal met het gereflecteerde. Dit alles hier eenvoudigheidshalve beredeneerd in vacuümomstandigheden, waardoor complicaties, als die met refractie en groeps- in plaats van fasesnelheid, buiten beschouwing blijven.

Met (1) en (2) is:

$$l = c(n/\nu),$$

waaruit, bij invariant veronderstelde  $c$ , voor de als differenties  $\Delta$  genomen onzekerheidstoleranties:

$$\Delta l = c \{ \Delta n/\nu - (n/\nu^2) \Delta \nu \} = (c/\nu) \Delta n - (c\tau) \{ (\Delta \nu)/\nu \}.$$

Omdat, met (1) en (2),  $c/\nu = (c\tau)/n = l/n$  geldt:

$$\Delta l = \{ (\Delta n)/n \} l - \{ (\Delta \nu)/\nu \} l,$$

waaruit:

$$(\Delta l) / l = (\Delta n)/n - (\Delta \nu)/\nu.$$

Hierin vertegenwoordigt  $(\Delta \nu)/\nu$  een eventuele proportionele onzekerheid in de EDM-klokfrequentie en  $(\Delta n)/n$  in de telling van het aantal periodes. Bij een positieve afwijking van  $\nu$  (te korte golflengte  $c/\nu$ ) wordt te kort gemeten; bij een positieve afwijking van  $n$  (teveel golven), te lang. Afgezien van een eventuele door de gebruiker te bepalen optelconstante en van de in het veld onvermijdelijke refractie, wordt de nauwkeurigheid van de met EDM gemeten lengteverhoudingen dus sedert 1983 beheerst door de frequentie en de langetermijn-stabiliteit van de EDM-klok.

## Een aangepaste functie voor de ijkbasis

Zoals opgemerkt werd het einde van het functionele bestaan van de Väisälä-ijkbases ingeluid door de metrologische overstap van de definitie van de meter als veelvoud van een golflengte (van licht) uit de tijd van Väisälä, naar de door licht afgelegde weg per eenheid van tijd, mogelijk geworden door de ontwikkelingen in de tijdmeting. Natuurlijk was het niet de in 1983 gemaakte afspraak tot herdefinitie, maar waren het de technische ontwikkelingen die daaraan ten grondslag lagen die het lot van de ijkbases bezegelden; in Finland, Argentinië, Nederland, Duitsland (bij München en Potsdam), Portugal en elders, waaronder in Ohio, VS.

Ook in de ruimtegeodesie - zoals bij lasermetingen naar satellieten en aan GPS - is afstandmeting gebaseerd op tijd- dan wel frequentiemeting. Het waren in feite de metingen in de ruimte die deze technische ontwikkelingen in een stroomversnelling brachten. Professor Y. Väisälä zelf had geholpen hiervoor de grondslag te leggen. Met de allang vóór 1957 - naast 'de Loenermark' ook het jaar van de eerste kunstmaan - door hem beoefende methode van 'stellaire triangulatie' - het ruimtelijk driehoeksmeten met behulp van hoge richtpunten, zoals ballonnen en raketten - was hij, in 1946 (!) vooruitblikkend naar het tijdperk van de 'small moons', één van de grondleggers van de satellietgeodesie geweest.

Väisälä leefde lang genoeg om getuige te zijn van de omslag die het gebruik van kunstmatige satellieten voor de geodesie teweeg bracht. GPS was er bij

*Controle van een tachymeter door meting van de 0- naar de 24-meter pijler (bron: Afd. Ruimtelijke Informatie, gemeente Apeldoorn).*



zijn leven nog niet, maar met satelliet-laserafstandmeting (Satellite Laser Ranging: SLR) was rond 1970 al een dermate hoge precisie bereikt dat de lancering van geodetische satellieten, die plaatsbepaling op aarde tot op enkele centimeters mogelijk moesten maken, op de ruimtevaartagenda's stond. In de realisatie en handhaving van het in 1991 gedefinieerde International Terrestrial Reference System (ITRS) speelde de beproefde SLR dadelijk een onmisbare rol bij de bepaling van de schaal. Met ITRS als grondslag voor het European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89) speelt SLR daarin voor Europa dezelfde rol. Daar SLR-systemen hun inmiddels bereikte precisieniveau van  $1:10^8$ , onafhankelijk van de Väisälä-bases, ontleen aan de nauwkeurige 'timing' van de looptijden van licht, hebben de Väisälä-bases, gezien de in 1983 ingevoerde nieuwe definitie van de meter, in de realisatie van ITRS geen aanwijsbare functie.

Nu bovendien voor de ijking van de terrestrische EDM-apparatuur geen beroep meer wordt gedaan op de Loenermarkbasis, lijkt haar 'slechts' de functie van een monument te passen; een monument om voor Noordwest-Europa de herinnering levend te houden aan de tijd toen voor een eenduidige mondiale geodetische maatvoering nog geen gebruik kon worden gemaakt van de banen van kunstmatige satellieten. 'Lijkt', want in de Loenermark ligt met een bedoelde  $1:10^7$  buitenshuis het nauwkeurigst gemeten stukje Nederland. En - wie weet? - komt die kennis in de toekomst nog eens van pas.

Bij de aanleg was ervan uitgegaan dat de basis zeker tot ver in de 21ste eeuw, misschien zelfs tot medio-22ste, dienstig zou zijn en prof. Honkasalo moet in 1970 de RCG hebben verbaasd met de afwijkende uitkomsten van zijn hermeting het jaar daarvóór (Geo-info 2008-7/8). Ervan uitgaande dat de commissie niet twijfelde aan het modelmatige inzicht en de meettechnische vaardigheden van de Finse collega's, stemde zij in met hun conclusie dat de basis in de afgelopen 12 jaar 0,6 mm langer was geworden. In dat geval was dit wellicht aanleiding om op termijn de Finse experts nog eens uit te nodigen. Dat het daar niet meer van is gekomen zal mede toe te schrijven zijn aan de hoge verwachtingen die, te beginnen in de jaren '70, qua meetprecisie werden gekoesterd van nieuwe ruimtegeodetische technieken, zoals SLR. De eerste betrouwbare satellietgeodetische uit-



*24 m-paalte van de invardraadbasis (situatie 2008).*



De invardraadbasis in verval (situatie 2008).

komsten voor Europa werden in 1979 al meegenomen in de laatste fase van de RETrig-vereffening, leidend tot het European Datum 1979 (ED79). Het is verheugend dat het Finse geodetisch instituut de eigen Nummela-basis nog - we schrijven 2008 - onderhoudt, dat de Väisälä-comparator nog operationeel is en dat nog kan worden beschikt over de expertise om daarmee te meten. Het kán dus nog, maar het is te betwijfelen of het op de Loenermark ooit tot een nieuwe hermeting komt, te meer daar voor de basis geen gebruiksmogelijkheden in zicht lijken te zijn. Desondanks is het goed dat de NCG de gemeente Apeldoorn heeft verzocht om er bij een eventuele restauratie van de basis op toe te zien dat de ondergrondse verzekeringen in de 0 m-, 288 m- en 576 m-pijlers ongemoeid worden gelaten.

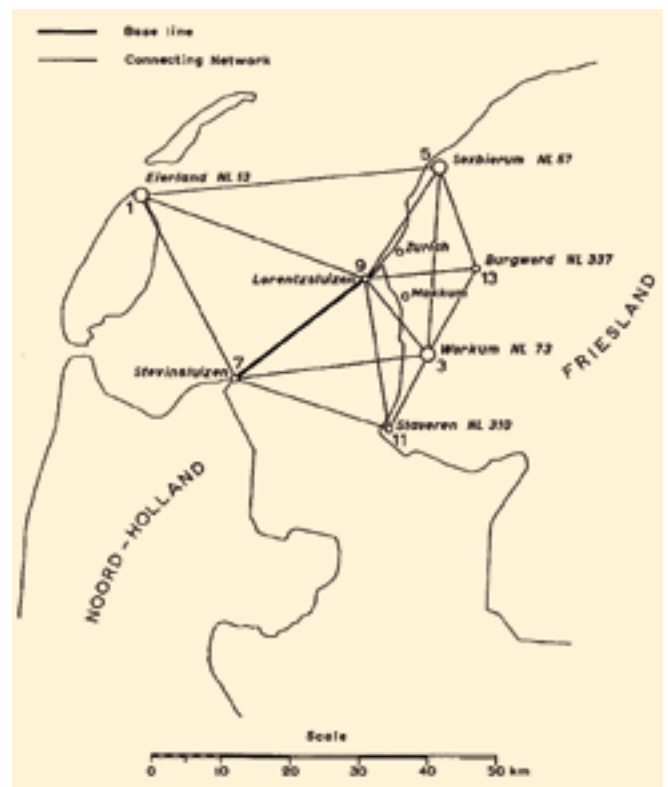
### Het 'Väisälä-metersysteem' succesvol in confrontatie met de satellietgeodesie

Werd bij de ijking van de invardraden ten behoeve van de meting van de Duitse basis bij Meppen (1960) en die langs de Afsluitdijk (1965) zonder voorbehoud uitgegaan van de lengte van de Loenermark-basis zoals die in 1957 was bepaald, na de hermeting in 1969 zal de RCG zich toch minstens hebben afgevraagd hoe de gevonden lengteverandering van 0,6 mm tot stand was gekomen; in haar geheel al vóór 1960, respectievelijk 1965, of geleidelijk tussen 1957 en 1969? Had misschien, ondanks alle voorzorgen, het schieten van een seismische lijn door de Nederlandse Aardolie Maatschappij over de Loenermark, in 1966 of kort daarna, de pijlers toch niet ongemoeid gelaten?

Ook zal de RCG in 1970 met enige verbazing kennis hebben genomen van de door collega Honkasalo terloops gerapporteerde 'fout' van het BIPM in 1953 (Geo-info 2008 7/8), waarmee de basis dadelijk vanaf 1957 was behept en die aanvankelijk met nominaal  $1:10^6$  zal hebben doorgewerkt in de basis bij Meppen. Voor de 24 km lange Afsluitdijk-basis konden in 1972 drie lengten worden gepubliceerd: (1) uitgaande van de oorspronkelijke in 1957 met de 'foutieve' BIPM-waarden voor de kwartsstaven bepaalde Loenermark-basis, (2) uitgaande van de door Honkasalo met verbeterde Väisälä-waarden voor de kwartsstaven gecorrigeerde Loenermark-basis en (3) uitgaande van de met die waarden in

1969 hermeten Loenermark-basis. De lengteverschillen '(2) - (1)' en '(3) - (2)' bedroegen beide, zoals te verwachten, ongeveer 25 mm. Bij de via een basis-verbinderconstructie berekende 45,4 km lange RD-zijde Eierland-Workum werd uitgegaan van uitkomst (2). Daarmee werd dus het effect van een onbekende vergroting van maximaal ongeveer 45 mm als gevolg van de door Honkasalo gevonden fysieke lengteverandering van de ijkbasis tussen 1957 en 1969 niet in rekening gebracht; 'maximaal' 45 mm, omdat, zoals opgemerkt, niet duidelijk is 'wanneer' (vóór of na 1965?) de lengteverandering van de ijkbasis zich heeft voltrokken. De in 1972 gepubliceerde onverwacht grote afwijking van bijna 27 cm (ongeveer 4 maal de standaardafwijking van 7 cm) was desondanks geen aanleiding tot dadelijke herberekening van het RD-net, maar wel een voorbode van de schaalcorrectie van  $+3:10^6$  die het net zou moeten ondergaan om in 1979 te passen in de laatste RETrig-berekening van het Europese driehoeksnet (ED79) en waarbij 'Eierland-Workum' 14 cm te kort bleek.

De diverse uitkomsten van de basismetingen op de Loenermark en langs de



Basis Afsluitdijk 1965 met verbindingsnet. De primaire RD-zijde 1-3 (Eierland-Workum) werd via hoek 5-1-3 herberekend uit 5-1 en 5-3 van het verbindingsnet (uit: Bakker e.a., 1972).

Afsluitdijk, hun mogelijke gevolgen voor de RD-zijde Eierland-Workum en de confrontatie daarvan met ED79 en met het latere ETRS89 zijn samengevat in Tabel 1. Met de wijsheid die ETRS 'achteraf' verschafft, blijkt daaruit hoe de lengte 'Eierland-Workum' die de ijkbasis Loenermark, via de Afsluitdijk en het basisverbindingsnet oplevert ( $45.373,903 \pm 0,07$  m) weliswaar het grote verschil van 27 cm (viermaal de standaardafwijking) vertoont met de 'klassieke' RD-uitkomst ( $45.373,636$  m), maar dat zij veel dicht bij de anno 2000 geldende ETRS-waarde ( $45.373,855$  m) ligt, een verschil van slechts 4,5 cm, dat ruim binnen de standaardafwijking van 7 cm blijft. Met andere woorden: als de uitkomsten van de Loenermark- en Afsluitdijk-basismetingen destijds gebruikt zouden zijn in een hervereffening, hetzij binnenslands of in RETrig-verband, zou dit tot een aanmerkelijke verbetering van de coördinaten hebben geleid. 'Eierland-Workum' zou, afhankelijk van de standaardafwijkingen die daarbij aan de 'klassieke' RD-gegevens, met inbegrip van de bases Bonn (1892) en Stroe (1913), zouden zijn toegekend, ergens tussen 64 en 90 cm achter de komma zijn uitgekomen; in overeenstemming met wat nu gezien RETrig en ETRS het geval blijkt te zijn. Terzijde wordt nog opgemerkt dat de RETrig-schaal, die in hoofdzaak steunde op klassieke terrestrische meettechnieken, slechts met  $1:10^6$  afwijkt van de op ruimtetechnieken gebaseerde ETRS-schaal. Dit mag worden gezien als een opsteker voor de klassieke driehoeksmeting in Europa.

Dat de RD-lengte 'Eierland-Workum', berekend vanuit de basis Afsluitdijk, zo dicht ligt bij de waarde zoals die volgt uit ETRS, geeft aan dat het 'Väisälä-metersysteem' binnen de marges van de wederzijdse meetnauwkeurigheden overeenstemt met wat later de ruimtetechnieken opleverden. Opmerkelijk is - maar het kan toeval zijn - dat de overeenkomst met een verschil van 3 mm vrijwel exact ( $< 1:10^7$ !) was geweest als niet was uitgegaan van de door Honkasalo op grond van de 'BIPM-fout' uit 1953 'gecorrigeerde' waarde van de Loenermark-basislengte, maar van de oorspronkelijke, uit 1957. Zeker is dat de overeenstemming slechter was geweest als voor de Loenermark-lengte de hermeten ('dubbel gecorrigeerde') waarde uit 1969 was gebruikt. Hieruit

Loenermark-ijkbasis		Basis Afsluitdijk	Eierland-Workum	Verschillen met:	
				RD	ETRS
1957 fout BIPM	576,09226 + .....60	→ 23970,066 (1)	→ 45373,858		3 mm
gecorrigeerd hermeting 1969	576,09286 + .....60	→ 23970,091 (2)	→ 45373,903 (publicatie RCG)	27cm	4,5cm
dubbel gecorr.	576,09346	→ 23970,116 (3)	→ 45373,95 (niet gebruikt)		
standaardafwijking:	0,00003	0,010	0,07		
<b>Zijde Eierland-Workum, met achtereenvolgende lengte-eenheden</b>					
1892-1913	Bases Bonn / Stroe, via RD-net: .....		45373,636	←	
1979	In schaal RETrig-vereffening: =RD + 3 ppm .....		45373,78		
2000	Uit ETRS-coördinaten, geprojecteerd in het RD-vlak: .....		45373,855	←	
	NB: schaal ETRS = RD + 4 ppm.		ir. J. van Buren 2008		

Boven: de lengtes en standaardafwijkingen van beide bases en de driehoekszijde Eierland-Workum, berekend uit drie bepalingen van de ijkbasis. Onder: het historisch verloop van de lengte-eenheden.  
Alle lengtes in de eerste drie kolommen luiden in meters; ppm = parts per million.  
De rechtsboven genoemde verschillen worden behandeld in de tekst.

Tabel 1.

zou, speculatief, kunnen worden geconcludeerd dat (1) wat de ijkbasis Loenermark aangaat voor de correctie voor de 'BIPM-fout' geen goede reden was en (2) dat die basis in 1965 nog niet de lengteverandering had ondergaan die Honkasalo in 1969 vaststelde.

Het voorwaardelijke karakter van het hier voorgaande, tot uiting komend in het veelvuldige gebruik van de woorden 'zou', 'was' en 'zouden', vraagt om nader onderzoek naar 'hoe', precies, het Loenermark-resultaat in nationaal en internationaal verband gebruikt is. Dat kan onderwerp zijn van een vervolgartikel door ir. J. van Buren en G.J.I.M. Lobé van de sectie Geometrische Referentiesystemen van het Kadaster.

De 0-1-pijler onderscheiden (2008).



#### Dankbetuiging

Ir. Joop van Buren en Gé J.I.M. Lobé maakten aanvullende berekeningen.

## Literatuur

- de Bruijn, D.C., *Enkele beschouwingen over het gebruik van de Tellurometer*, K&L 76 (1960), p. 40-54.
- de Munck, J.C., *Efemeridentijd, atoomtijd en universele tijd*, K&L 81 (1965), p. 349-382.
- Witt, G.F., *Een puntenveld in de 'Loenermark' ten behoeve van het ijken van optische afstandmeters*, K&L 82 (1966), p. 98-101.
- Bakker, G., M. Haarsma, B.G.K. Krijger en J.C. de Munck, *Measurement of the base and base extension net 'Afsluitdijk'*, publ. RCG, Delft 1972.
- de Koningh, T., *Ijkmeting van afstandmeters*, Geodesia 1985, p. 238.
- Brouwer, F.J.J. en J. van Buren, *Het RD-net in Europees verband*, Geodesia 1985, p. 336-341.
- de Bruijne, A., J. van Buren, A. Kösters en H. van der Marel, *De geodetische referentiestelsels van Nederland*, publ. NCG nr. 43, Delft 2005.
- Jaarverslagen en archief NCG, Delft.

## Samenvatting

### Ijkbasis Loenermark, van instrument tot monument (2)

Een voorafgaand artikel (Geo-Info 2008-7/8) behandelde de aanleg van de interferentie-ijkbasis Loenermark, in 1955-1957. De basis werd gebruikt voor de controle van invarraden en elektronische afstandmeters. Door de opkomst van de satellietgeodesie raakten invarraden bij geodetische driehoeksmeting in onbruik. De ontwikkeling van zeer stabiele oscillatoren leidde tot een herdefinitie van de meter als lengtemaat. Dit had tot gevolg dat elektronische afstandmeters binnenshuis konden worden gecontroleerd en dat de ijkbasis omstreeks 2000 ook hiervoor niet meer nodig was. Bij de handhaving van de basis als Apeldoorns monument zal er echter voor worden gewaakt dat de vastleggingen niet worden verstoord. Op de Loenermark geijkte invarraden werden in 1965 gebruikt voor de meting, langs de Afsluitdijk, van een nieuwe lengtebasis voor het Nederlandse Rijksdriehoeksnet. Kritische analyse van de uitkomsten van die meting en van de toepassing daarvan geeft aan dat de methode-Väisälä in Nederland in onverwacht goede overeenstemming was met de latere uitkomsten via de satellietgeodesie.

### Summary

#### Calibration base line Loenermark, from instrument to monument (2)

The previous article (Geo-Info 2008-7/8) described the construction of the interference base line Loenermark, in 1955-1957. The base line was used for checking geodetic invar wires and electronic distance meters (EDMs). With the introduction of satellite geodesy, invar wires and geodetic triangulation became obsolete. The development of very stable oscillators led to the redefinition of the meter as the standard of distance. As a consequence, EDMs could be checked indoors and the base line was not necessary for this purpose anymore from 2000 onwards. Maintaining the base line as a monument in Apeldoorn, it will be taken care of that its fixed points remain so. Invar wires calibrated at the Loenermark base line were used for measuring - along the Afsluitdijk - a new length base for the national triangulation network. Thorough analysis of the result of that measurement and its application revealed that in The Netherlands Väisälä's method was unexpectedly well aligned with the later results derived from satellite geodesy.

## Résumé

### Base de calibration Loenermark, de l'instrument au monument

Un article précédent (Geo-Info 2008-7/8) traita de l'établissement de la base d'interférométrie de Loenermark en 1955-1957. La base fut employée pour le contrôle des fils d'invar et de distomètres électroniques. Par le développement de la géodésie satellitaire l'emploi des fils en invar devint désuet. Le développement d'oscillateurs très stables mena à la redéfinition du mètre unité. Ceci conduit à des mesures en laboratoire des distomètres et la base de calibrage devint ainsi inutile en 2000. Les fils en invar de Loenermark furent utilisés en 1965 pour la mesure de base le long du Afsluitdijk (Digue de fermeture du Lac d'IJssel) de la nouvelle base géodésique néerlandaise. Une analyse critique des résultats de ces mesures démontre que la méthode Väisälä fut au Pays-Bas en accord avec les résultats ultérieurs de la géodésie satellitaire.

## OOK MD-GEBOUW VERDWENEN

In 2003 verliet de Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat (MD) het pand Kanaalweg 3b te Delft. (Tegelijk werd de naam MD veranderd in AGI en intussen werd dat weer DID.)

In de voorzomer van 2008 is nu het pand Kanaalweg 3b met de grond gelijk gemaakt. Het ging om een deel van het in 1956 onder regie van prof. dr.ir. Willem Schermerhorn gebouwde complex voor ITC, KLM Aerocarto en MD met onder andere stabiele vloeren voor fotogrammetrische instrumenten.

