

Nieuwe ETRS89-coördinaten voor het AGRS.nl

Arnoud Pol, Anton Kösters
Rijkswaterstaat, Adviesdienst Geo-informatie en ICT (AGI)
6 april 2004

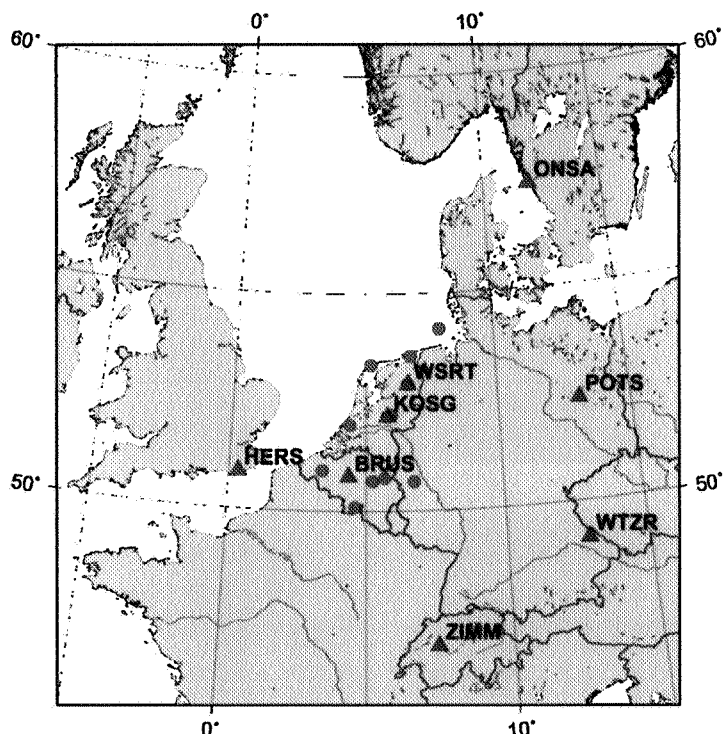
Achtergrond

Sinds 1997 is het Actief GPS Referentiesysteem van Nederland, het AGRS.nl, operationeel. De referentiestations van het AGRS.NL vormen de operationele vastlegging van het referentiesysteem ETRS89 in Nederland. Het referentiesysteem ETRS89 is voor Europa de primaire referentie voor veel (al dan niet grensoverschrijdende) toepassingen van inwinnen en vastleggen van positie- en hoogtegegevens. In 1997 bestond het AGRS.nl uit de referentiestations Delft, Eijsden, Kootwijk, Terschelling en Westerbork. De ETRS89-coördinaten van deze referentiestations zijn berekend uit meetgegevens van de AGRS.nl stations uit de eerste helft van 1996. Dit netwerk bestond uit de IGS-stations Brussel, Delft, Herstmonceux, Kootwijk, Onsala, Wettzell en uiteraard de AGRS.nl.stations [Beckers, 1997]. Deze coördinaten zijn de tot op heden *gepubliceerde* ETRS89-coördinaten van het AGRS.nl in de realisatie ETRF96. De berekeningen zijn uitgevoerd met de Bernse Software versie 4.0. Na deze berekeningen zijn er geen nieuwe coördinaten voor de AGRS.NL referentiestations meer gepubliceerd.

Halverwege het jaar 2000 hebben er aan het AGRS.nl een aantal configuratiewijzigingen plaatsgevonden. Zo is het station Kootwijk vervangen door het station Apeldoorn en zijn de GPS-ontvangers en antennes van Turbo Rogue vervangen door Trimble 4700 GPS-ontvangers en de daarbij behorende Dorne Margolin antennes (TRM 29659.00). Voor het station Apeldoorn zijn voorlopige ETRS89-coördinaten berekend op basis van een beperkt aantal dagen AGRS.nl data uit het jaar 2000.

Het Kadaster en de Adviesdienst Geo-informatie en ICT van Rijkswaterstaat (AGI), samenwerkend onder RDNAP, zijn verantwoordelijk voor de gegevens van het AGRS.nl. Beide instanties beschikken over licenties van de Bernese Software versie 4.2. De Bernese Software geldt als de internationale standaard voor coördinaatbepaling voor grootschalige GPS netwerken.

Ten behoeve van de bewaking van de coördinaten van de stations van het AGRS.NL in internationaal perspectief, is een tijdserie opgebouwd (vanaf 1 januari 2000) van de coördinaten van de AGRS.nl referentiestations, op basis van dagelijkse oplossingen uit meetgegevens over een periode van 24 uur. De AGRS.nl stations worden berekend in een dichter netwerk dan destijds in 1996. Het huidige netwerk bestaat uit de IGS-stations Brussel, Kootwijk, Herstmonceux, Onsala,



Figuur 1- het AGRS.nl netwerk voor coördinaatberekeningen

Potsdam, Westerbork, Wettzell en Zimmerwald, de BKG-stations Borkum, Euskirchen en Helgoland en de AGRS.nl. stations (zie Figuur 1 en [Van der Marel, 2002]).

Uit de dagoplossingen worden per kalenderjaar jaaroplossingen berekend in ETRS89, gebaseerd op de realisatie ITRF2000 van ITRS. Uit een vergelijking van deze jaaroplossingen voor de coördinaten van de AGRS.NL referentiestations met de oorspronkelijke coördinaten uit 1996 blijkt dat er significante verschillen tussen beide oplossingen zijn.

Probleemstelling

Gebleken is dat de coördinaten van de AGRS.nl referentiestations die nu berekend worden, afwijken van de oorspronkelijke coördinaten. De belangrijkste redenen om de gepubliceerde ETRS89-coördinaten te wijzigen zijn:

- Er zijn aanwijsbare oorzaken voor de geconstateerde afwijkingen:
 - De coördinaten uit 1997 zijn berekend in een ander netwerk;
 - De GPS-apparatuur op de referentiestations is vervangen;
 - Er is een nieuwe realisatie van ETRS89.
- Er is een belangrijke verbetering in de bepaling van NAP-hoogtes met behulp van GPS-metingen mogelijk.
- Er zijn geen voldoende nauwkeurige ETRS89-coördinaten bekend voor station Apeldoorn.

Doelstelling

Doel van dit document is a) een onderbouwing te geven van de keuze voor ETRS89 – coördinaten voor de AGRS.nl-stations in Nederland en b) criteria vast te stellen voor toekomstige besluiten tot wijzigingen van deze coördinaten.

Coördinaatbepaling AGRS.NL

Voor de bepaling van posities uit GPS metingen is sinds november 2001 het referentiesysteem ITRS00 relevant. Hieraan is gekoppeld de realisatie ETRF00 van het referentiesysteem ETRS89. Hiervoor wordt de transformatie gebruikt die beschreven is door Altamimi en Boucher [Altamimi, 2001]. Deze omrekening is de Europese standaard, zoals overeengekomen binnen de subcommissie EUREF van de International Association of Geodesy (IAG).

Bij de dagelijkse coördinaatbepaling wordt met behulp van de Bernese Software op een geautomatiseerde wijze iedere dag de coördinaten berekend van de vijf AGRS.NL stations in een Europees netwerk met meerdere IGS stations. Deze dagoplossingen zijn coördinaten in (op dit moment) ITRS00. De dagoplossingen van één kalenderjaar worden met de module ADDNEQ uit de Bernese Software omgerekend naar een jaaroplossing. Deze jaaroplossingen worden getransformeerd naar ETRS89, conform de EUREF procedures. Voor het jaar 2002 spreken we dan van coördinaten in het referentiesysteem ETRS89, gebaseerd op de realisatie ITRF2000 van ITRS, op epoche 2002.5. In Bijlage 1 zijn de tijdseries gegeven van de coördinaten van de AGRS.nl referentiestations in ETRS89. In deze plots zijn mede aangegeven de 'oude' coördinaten in de realisatie gebaseerd op realisatie ITRF96 en de nieuwe coördinaten in gebaseerd op realisatie ITRF2000. In Bijlage 2 zijn scatterplots en hoogteplots gemaakt van de jaaroplossing 2002 ten opzichte van de overige berekende jaaroplossingen. De 'oude' coördinaten in realisatie ETRF1996 zijn aangegeven met het rode label '1997'.

Beleid coördinaatbepaling AGRS.nl

Coördinaatbepaling binnen het AGRS.NL gebeurt op basis van dagoplossingen en jaaroplossingen. Teneinde de invloed van periodieke fluctuaties te minimaliseren worden besluiten tot vaststelling van ETRS89 coördinaten van AGRS.NL referentiestations uitgevoerd op basis van jaaroplossingen.

De ETRS89-coördinaten van de AGRS.NL referentiestations worden per 1 april 2004 vastgesteld op de waarden van de jaaroplossing 2002 en worden benoemd: *ETRS89, gebaseerd op de realisatie ITRF2000 van ITRS op epoche 2002.5.*

Jaarlijks worden nieuwe jaaroplossingen berekend in de op dat moment meest actuele realisatie van ETRS89.

De ETRS89-coördinaten van de AGRS.nl referentiestations worden in de toekomst aangepast indien de meest recente jaaroplossing van de coördinaten van één of meer stations meer dan 3σ (~99.7% betrouwbaarheidsinterval) afwijkt van de gepubliceerde waarde.

Het 3σ -criterium is gekozen vanwege de wens niet onnodig tot wijziging over te gaan: alleen bij extreme afwijkingen, waarbij er zo goed als zeker sprake is van een niet-stochastische oorzaak. Onderkent wordt dat een 3-dimensionale evaluatie van de afwijkingen realistischer is, maar dit kan niet eenvoudig in de huidige berekeningswijze worden geïmplementeerd.

In Tabel 1 worden zowel de geocentrische (X,Y,Z) als geografische (ϕ , λ , h) ETRS89-coördinaten en de bijhorende standaardafwijkingen van de jaaroplossing 2002 gegeven. Hieruit kan worden afgeleid dat de tolerantie voor de verschillen tussen de diverse jaaroplossingen uitgedrukt in geocentrische coördinaten X,Y,Z varieert van 4 tot 8 mm en uitgedrukt in geografische coördinaten 4 tot 5 mm in ligging en 9-12 mm in hoogte.

Station	Marker	X (m)	Y (m)	Z (m)
1APEL	13510M001	3895237,0810	406814,3266	5017378,0689
2DELFF	13502M004	3924687,7072	301132,7715	5001910,7832
3EIJS	13533M001	4023086,5361	400394,8790	4916655,3378
5TERS	13534M001	3798580,8766	346993,8442	5094780,8308
6WSRA	13506M005	3828736,1446	443304,7456	5064884,5120

Station	Marker	σ_x (mm)	σ_y (mm)	σ_z (mm)
1 APEL	13510M001	2.2	1.8	2.3
2 DELFF	13502M004	2.2	1.3	2.8
3 EIJS	13533M001	2.6	1.2	2.6
5 TERS	13534M001	2.9	1.2	3.1
6 WSRA	13506M005	2.0	1.2	2.4

Station	Marker	ϕ (dd mm ss)	λ (dd mm ss)	h (m)
1APEL	13510M001	52° 12' 42,9175" N	5° 57' 44,2575" E	115,899
2DELFF	13502M004	51° 59' 10,0222" N	4° 23' 15,3030" E	74,369
3EIJS	13533M001	50° 45' 29,6558" N	5° 41' 00,9825" E	103,792
5TERS	13534M001	53° 21' 45,8491" N	5° 13' 09,7880" E	56,105
6WSRA	13506M005	52° 54' 52,5893" N	6° 36' 16,2065" E	82,275

Station	Marker	σ_ϕ (mm)	σ_λ (mm)	σ_h (mm)
1 APEL	13510M001	1.3	1.8	2.9
2 DELFF	13502M004	1.6	1.2	3.2
3 EIJS	13533M001	1.3	1.1	3.5
5 TERS	13534M001	1.3	1.2	4.0
6 WSRA	13506M005	1.2	1.2	2.9

Tabel 1- ETRS89 coördinaten van de AGRS.nl stations en hun precisie: gebaseerd op realisatie ITRF2000 van ITRS, op epoche 2002.5.

Vergelijking tussen de jaaroplossingen van 2000, 2001, 2002 en 2003

Ter controle van de gemaakte keuzes is in de onderstaande tabel een vergelijking gemaakt tussen de jaaroplossing van 2002 met de jaaroplossingen van 2000, 2001 en 2003. De jaaroplossing van 2000 heeft voor een deel betrekking op de situatie voor vervanging van de GPS ontvangers, waardoor deze vooral in de hoogte een systematische afwijking vertonen. De jaaroplossingen 2001, 2002 en 2003 zouden uitwisselbaar moeten zijn en mogen dus niet significant van elkaar afwijken. In Tabel 2 worden de verschillen weergegeven tussen de diverse jaaroplossingen.

		2002 – 2000			2002 - 2001			2002 - 2003		
		dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ
Apeldoorn	13510M001	-4,5	1,0	-4,9	-3,7	0,0	-3,8	1,0	0,0	-0,6
Delft	13502M004	3,2	0,6	5,3	0,2	-0,1	0,7	2,4	0,6	1,8
Eijsden	13533M001	2,6	1,8	4,1	0,0	-0,1	0,2	0,5	-0,1	-1,3
Terschelling	13534M001	3,2	4,0	0,7	0,5	1,4	-0,3	1,5	-0,8	1,7
Westerbork	13506M005	-0,1	1,0	1,5	-0,6	0,3	0,0	3,5	0,7	2,9
tolerantie		7	4	8	7	4	8	7	4	8
gemiddelde		1,3	0,6	1,9	0,1	0,1	0,4	1,1	0,1	0,5
standaardafwijking		5,7	3,2	6,0	2,6	1,6	2,6	2,0	0,7	2,1

Tabel 2- Vergelijking van de jaaroplossing 2002 met 2000, 2001 en 2003 (eenheden millimeters); toleranties gebaseerd op de behaalde precisie in 2002

Uit deze tabel blijkt dat de verschillen tussen de jaaroplossingen 2001, 2002 en 2003 klein zijn in vergelijking met de toleranties. Deze resultaten tonen aan dat de ETRS89-coördinaten uit de jaaroplossing 2002 representatief zijn. Verder blijkt dat jaaroplossingen in combinatie met de gestelde criteria voor verandering van coördinaten, een voldoende stabiele eenheid vormen om gefundeerde beslissingen van wijziging van coördinaten te kunnen nemen.

Vergelijking van de gepubliceerde ETRS89-coördinaten met de jaaroplossing van 2002

In Tabel 3 is een vergelijking gemaakt tussen de ETRS89-coördinaten van de jaaroplossing 2002 met de 'oude', tot op heden gebruikte ETRS89-coördinaten in een eerdere realisatie. Hieruit blijkt dat de verschillen tussen de oude en de nieuwe coördinaten significant zijn, met name in de hoogte (combinatie X en Z).

		2002 – 1997		
		dX	dY	dZ
Apeldoorn	13510M001	5,0	7,6	22,9
Delft	13502M004	-0,8	2,5	13,2
Eijsden	13533M001	3,1	4,0	18,8
Terschelling	13534M001	6,6	12,2	13,8
Westerbork	13506M005	-2,4	4,6	12,0
tolerantie		7	4	8
gemiddelde		2,3	6,2	16,1
standaardafwijking		3,8	3,8	4,6

Tabel 3 - Vergelijking van jaaroplossing 2002 (realisatie ITRF2000) met 'oude' coördinaten (realisatie ITRF96); eenheden millimeters.

Externe controle met het EUREF Permanent Network (EPN)

Om de jaaroplossing van 2002 extern te verifiëren en te toetsen, is een vergelijk gemaakt met het deelnet van de Koninklijke Sterrenwacht van België in Brussel (Royal Observatory of Belgium - ROB), dat opgenomen is in het EUREF Permanent Network (EPN). De AGRS.nl stations Delft, Eijsden en Terschelling zijn ook in dit deelnet opgenomen en daarmee zijn ETRS89-coördinaten van deze stations, gebaseerd op de realisatie ITRF2000 van ITRS. In Tabel 4 wordt de AGRS.NL jaaroplossing van 2002 vergeleken met de resultaten van ROB.

		2002 – ROB		
		dX	dY	dZ
DELF	13502M004	-0,7	2,0	0,4
EIJS	13533M001	-3,1	2,9	-4,4
TERS	13534M001	-3,4	3,5	-4,8

Tabel 4- vergelijking van de jaaroplossing 2002 met gegevens ROB.

De verschillen tussen de jaaroplossing van 2002 en de ROB oplossing zijn beperkt en verklaarbaar uit de meetprecisie en het verschil in de gekozen aansluitpunten van het netwerk. Deze resultaten tonen aan dat de jaaroplossing van 2002 niet significant afwijkt van de ROB oplossing. Hiermee zijn de nieuwe coördinaten voor de AGRS.nl referentiestations ook extern geverifieerd.

Samenvatting en conclusies

Er zijn significante verschillen geconstateerd tussen de ETRS89-coördinaten van de referentiestations van het AGRS.nl, zoals oorspronkelijk vastgesteld in 1997, en de resultaten van recente berekeningen. Deze verschillen zijn met name van belang voor hoogtebepaling. Voorgesteld wordt de ETRS89-coördinaten van de referentiestations van het AGRS.nl aan te passen. De nieuwe coördinaten worden gebaseerd op de jaaroplossing van 2002. Tevens worden criteria vastgesteld voor toekomstige aanpassingen. De nieuwe ETRS89-coördinaten van de referentiestations van het AGRS.nl zijn geverifieerd door vergelijkingen met eigen gegevens en met een externe referentie.

Geconcludeerd wordt dat:

- Jaaroplossingen, zoals deze nu berekend worden voor het AGRS.nl, bruikbare uitgangspunten zijn voor het vaststellen van coördinaten van het de referentiestations van het AGRS.nl.
- De gekozen criteria voor het aanpassen van coördinaten in de toekomst lijken werkbaar: de geconstateerde verschillen tussen de jaaroplossingen 2001, 2002 en 2003 zijn klein in vergelijking met de toleranties.
- De verschillen tussen de jaaroplossingen van 2002 en 1997 voldoende zijn om (volgens de voorgestelde criteria) de hier beschreven aanpassing te motiveren.

Doel van het aanpassen van de ETRS89-coördinaten van de AGRS.nl referentiestations is onder meer de nauwkeurigheid van hoogtebepaling ten opzichte van NAP met GPS te verbeteren. Een nieuwe publicatie van ETRS89-coördinaten heeft verder tot gevolg dat:

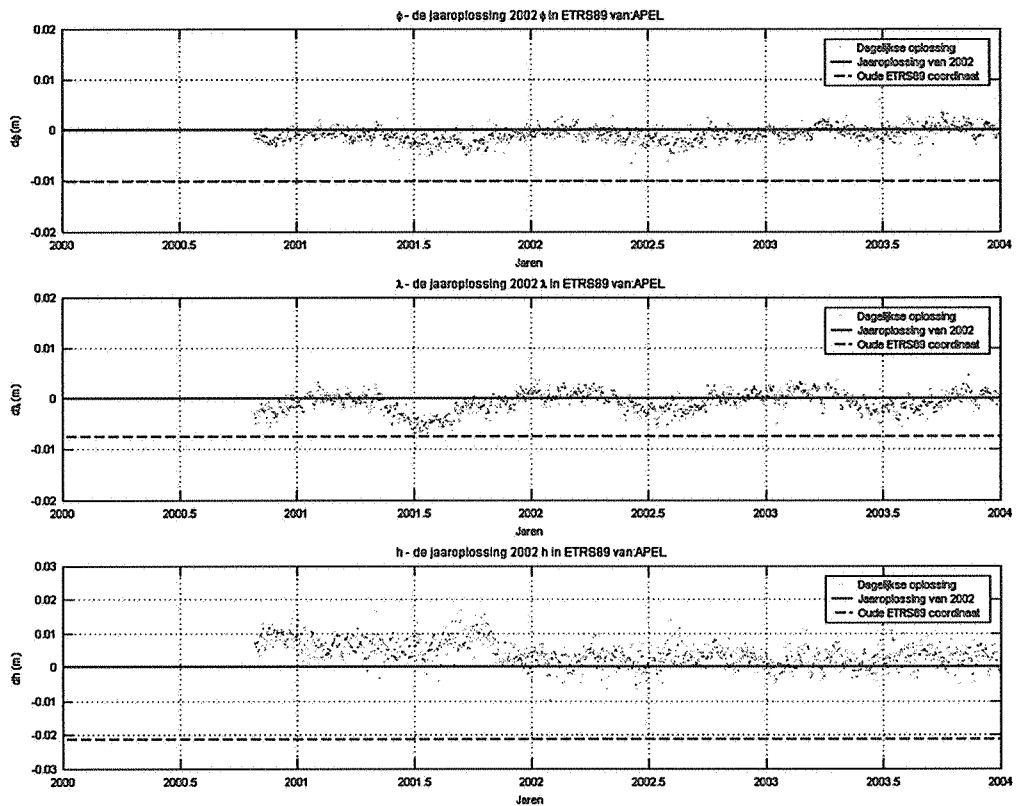
- De geoïde moet worden herberekend en gerelateerd aan de nieuwe ETRS89 coördinaten van het AGRS.nl;
- Een nieuwe versie van RDNAPTRANS, als standaard omrekenprocedure tussen RD en NAP enerzijds en ETRS89 anderzijds noodzakelijk is;

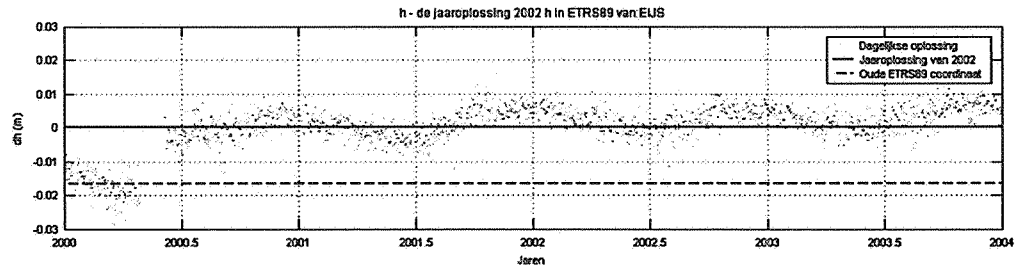
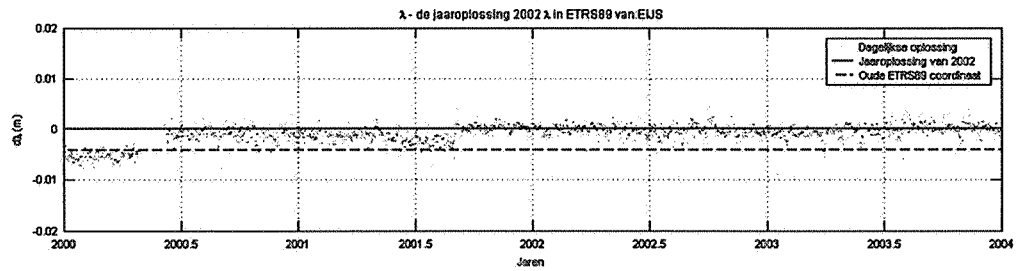
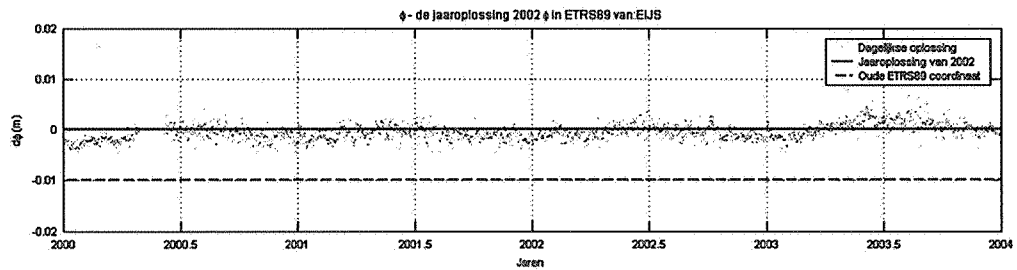
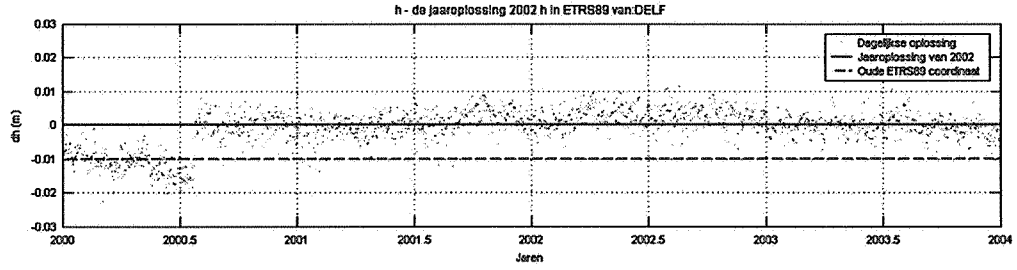
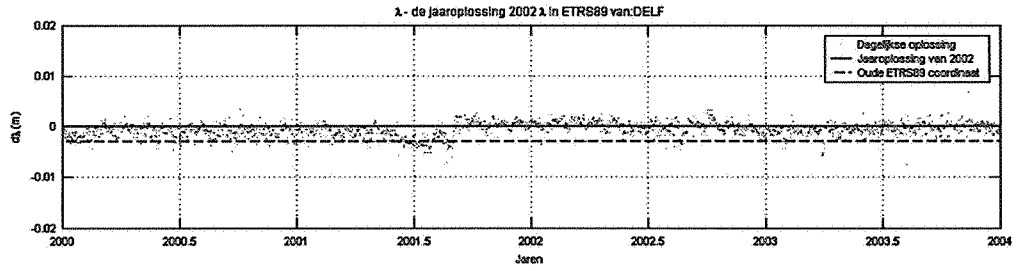
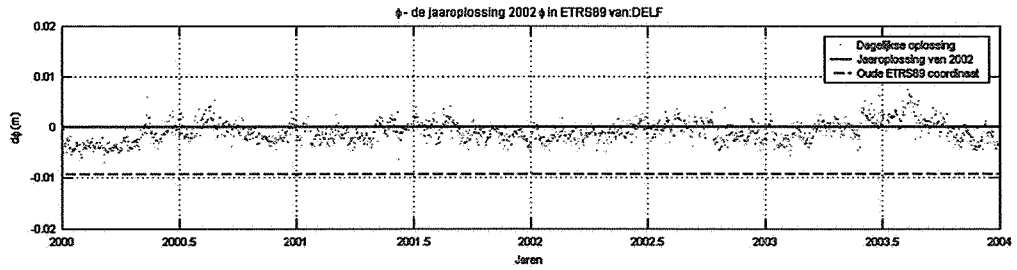
Referenties

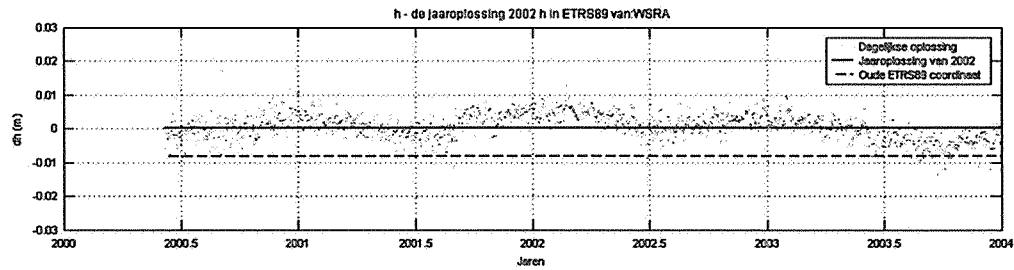
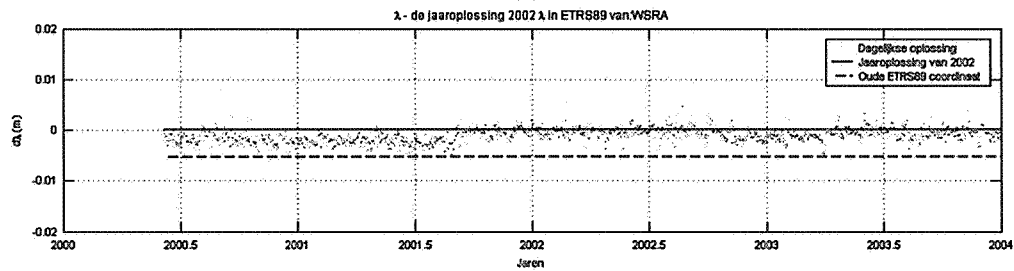
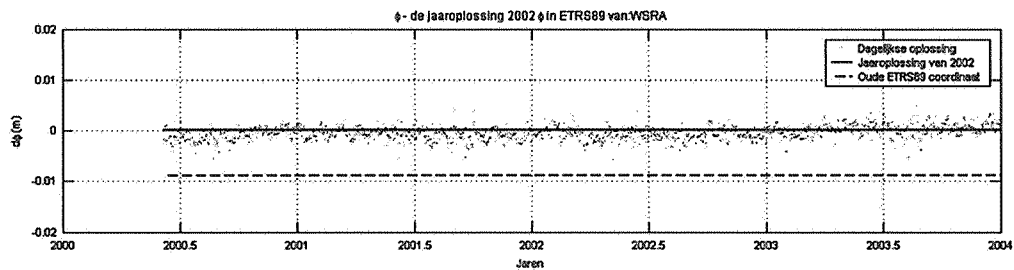
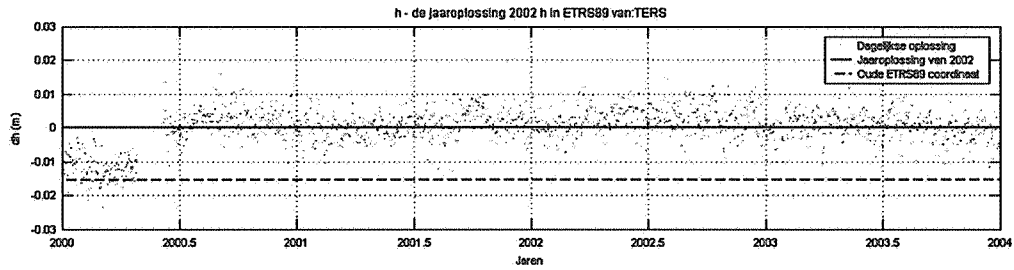
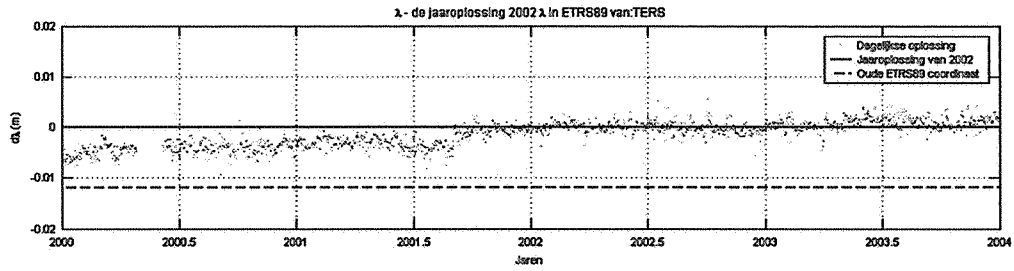
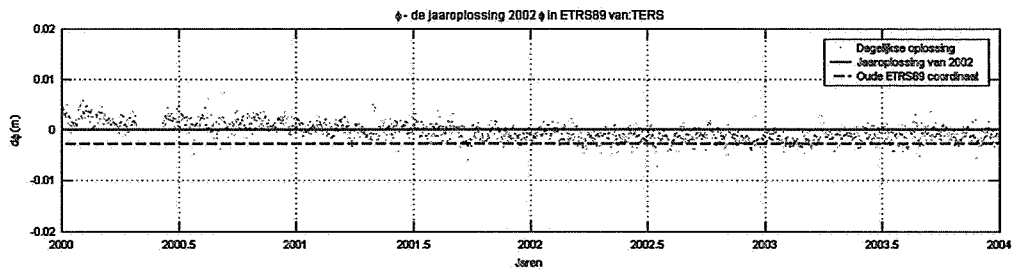
- [Altamimi, 2001] Altamimi, Z., C. Boucher, Memo : Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign.
- [Marel, 2002] Marel, H. van der, Processing of the AGRS.NL network with the Bernese GPS software.
- [Beckers, 1997] Beckers, G.W.J., H. van der Marel, ITRF- en ETRF-coördinaten van de AGRS referentie stations in Nederland.

Bijlage 1. Tijdsreeks ETRS89- coördinaten AGRS.nl

In deze bijlage zijn de tijdsreeks gegeven van de coördinaten van de AGRS.nl referentiestations in ETRS89. In deze plots zijn mede aangegeven de 'oude' coördinaten in de realisatie gebaseerd op de oude realisatie (rode stippellijn) en de nieuwe coördinaten (groen doorgetrokken lijn).







Bijlage 2: Jaaroplossingen ETRS89-coördinaten AGRS.nl

In deze bijlage zijn scatterplots en hoogteplots gemaakt van de jaaroplossing 2002 ten opzichte van de overige berekende jaaroplossingen.

Toelichting:

- de nieuwe ETRS89 – coördinaat (2002 – groen);
- de oude ETRS89-coördinaat (1997 – rood);
- de jaaroplossingen 2000, 2001 en 2003 (zwarte stippen);
- van DELF, EIJIS en TERS is in blauw met ROB aangegeven de coördinaatoplossingen berekend door het Royal Observatory Belgium.

