

De NEREF-campagnes 1990, 1991 en 1994

G.B.M. Brand, J. van Buren, H. van der Marel en R.E. Molendijk

Nederlandse Commissie voor Geodesie

Delft, november 1997

Colofon

De NEREF-campagnes 1990, 1991 en 1994

G.B.M. Brand, J. van Buren, H. van der Marel en R.E. Molendijk

ISBN 90 6132 262 6

Uitgegeven door: Nederlandse Commissie voor Geodesie, Delft

Vormgeving en productie: Bureau Nederlandse Commissie voor Geodesie, Delft

Druk en bindwerk: Meinema Drukkerij, Delft

Omslag: Ligging van de NEREF-punten

Bureau van de Nederlandse Commissie voor Geodesie

Bezoekadres: Thijsseweg 11, 2629 JA Delft

Postadres: Postbus 5030, 2600 GA Delft

Tel.: 015-278 28 19

Fax: 015-278 17 75

E-mail: ncg@geo.tudelft.nl

WWW: www.knaw.nl

De Nederlandse Commissie voor Geodesie (NCG) is een instituut van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW).

Inhoudsopgave

Samenvatting 1

1. *Inleiding 3*
 - 1.1 EUREF89 3
 - 1.2 Drie NEREF-campagnes 3
 - 1.3 Subcommissie NEREF 4
 - 1.4 Doel van dit rapport 4

2. *Overzicht EUREF-, NEREF- en NEREF/MAREO-punten 5*
 - 2.1 Ligging van de NEREF-punten 5
 - 2.2 Coderingen van de NEREF-punten 6
 - 2.3 Stationsbezettingen in de Europese campagnes 7
 - 2.4 Puntdossiers 8

3. *De NEREF/MAREO90-campagne 9*
 - 3.1 Doelstellingen 9
 - 3.2 Metingen 9
 - 3.3 Antennekalibraties 11
 - 3.4 Resultaten 12

4. *De NEREF91-campagne 13*
 - 4.1 Doelstellingen 13
 - 4.2 Metingen 13
 - 4.3 Resultaten 15

5. *De NEREF94-campagne 17*
 - 5.1 Doelstellingen 17
 - 5.2 Metingen 17
 - 5.3 Resultaten 19

6. *Aansluiting aan RD en NAP 20*
 - 6.1 Aansluiting aan RD 20
 - 6.2 Aansluiting aan NAP 22
 - 6.3 Resultaten aansluiting RD en NAP 22

7. *Transformatieparameters uit NEREF91 23*
 - 7.1. Transformatie met geïde 23
 - 7.2. Transformatie zonder gebruik van een geïde 24

8. *Geïntegreerde berekening van alle NEREF-campagnes 27*
 - 8.1 Beschikbare basislijnen uit de NEREF-campagnes 27
 - 8.2 Aansluitingsgegevens ETRS89 en ITRS 28

8.3	Aanpak en uitvoering geïntegreerde berekening	29
8.4	Resultaten	29
8.5	Controle transformatieparameters	31
9.	<i>Literatuur</i>	32
	<i>Bijlagen</i>	33
1.	Inhoud van de puntdossiers	33
2.	Overzicht van beschikbare data op CD-ROM	34
3.	Afkortingen	35

Samenvatting

De Europese vereffening heeft door het gebruik van het Global Positioning System (GPS) een kwaliteit bereikt die beter is dan die van het nationale stelsel van de Rijksdriehoeksmeting (RD). Het stelsel van de Europese vereffening wordt aangeduid als European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89) en is tot stand gekomen door verschillende GPS-campagnes, te beginnen met de EUREF89-campagne (EUropean REference Frame 1989). Later zijn de Nederlandse stations opgenomen in de EUREF-D/NL93-GPS-campagne.

Voor praktisch alle navigatie en landmeetkundige toepassingen kan het ETRS89 gelijk gesteld worden aan het World Geodetic System (WGS), het stelsel waarin de GPS-satellietbanen bekend zijn en waarin GPS-ontvangers hun positie berekenen. Omdat te verwachten is dat het ETRS89 een steeds belangrijker rol zal gaan spelen is een goede aansluiting aan RD en NAP van belang.

Om ETRS89 met RD en NAP te kunnen verbinden werden drie GPS-meetcampagnes uitgevoerd, respectievelijk in 1990, 1991 en 1994. In deze campagnes werden ook peilmeetstations langs de Nederlandse kust betrokken (MAREO-punten) om te onderzoeken in hoeverre GPS-metingen een bijdrage kunnen leveren aan de meting van de zeespiegelvariatie in combinatie met bodemdaling. De activiteiten in het kader van NEREF (NEtherlands REference Frame) werden uitgevoerd onder auspiciën van de gelijknamige Subcommissie (inmiddels omgedoopt in Subcommissie Geometrische Infrastructuur) van de Nederlandse Commissie voor Geodesie (NCG).

Naast de vier EUREF-punten in Nederland werden negen NEREF-punten gemaakt. Zeven punten langs de kust werden als MAREO-punten meegenomen. De praktische uitvoering van de metingen en berekeningen werd gedaan door de Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat (MD), de Rijksdriehoeksmeting van het Kadaster (RD) en de Faculteit der Geodesie van de TU Delft (TUD).

De doelstellingen van de verschillende NEREF-campagnes waren:

- onderzoek naar het gecombineerde effect van zeespiegelvariatie en bodemdaling langs de Nederlandse kust;
- verdichting van ETRS89 zodat gemakkelijker op dit stelsel kan worden aangesloten;
- bepaling van transformatieparameters tussen RD/NAP en ETRS89;
- verschaffen van gegevens voor een nieuwe geoïde van Nederland (de De Min-geoïde).

Voor een goede aansluiting aan RD werden de NEREF-punten verbonden met omliggende eerste-orde-RD-punten. Voor een goede verbinding met het NAP werden waterpassingen uitgevoerd naar ondergrondse merken van het NAP.

Uit voorlopige resultaten van de NEREF-berekeningen zijn transformatieparameters berekend voor Nederland. Uit de dertien punten in Nederland bekend in RD/NAP en

ETRS89 werden door een ruimtelijke gelijkvormigheidstransformatie transformatieparameters berekend tussen beide stelsels. Deze transformatieparameters zijn inmiddels op diverse plaatsen gepubliceerd en b.v. ook opgenomen in de nieuwe Handleiding Technische Werkzaamheden 1996 van het Kadaster (HTW1996). De restverschillen in de transformatie zijn kleiner dan 15 cm in alle richtingen. Gezien de hoge nauwkeurigheid van de GPS-metingen is het getal van 15 cm een indicatie voor de kwaliteit van de bestaande referentiesystemen.

De GPS-basislijnen van de NEREF-campagnes werden berekend met de Bernse GPS-software en met Trimble GPS-software. Met alle beschikbare basislijnen werd een geïntegreerde vereffening uitgevoerd met het Delftse vereffenningsprogramma SCAN3.

1. Inleiding

1.1 EUREF89

Met de voltooiing van de EUREF89-campagne (EUropean REference Frame 1989) werd een mijlpaal bereikt in de Europese vereffening. Voorgaande Europese vereffeningen, waarvan het ED50 (European Datum 1950) wel het bekendste en meest toegepaste is, waren het resultaat van berekeningen met de waarnemingen van de nationale driehoeksnetten. De resultaten in Nederland waren dan ook niet van een hogere orde dan het bestaande eerste-ordedriehoeksnet en beperkt tot de twee dimensies van de ligging. Voor de hoogtecomponent zijn in het kader van UELN (United European Levelling Network) eveneens Europese vereffeningen uitgevoerd, maar deze zijn van weinig praktische betekenis gebleken. EUREF89 daarentegen is gebaseerd op consistente GPS-meetcampagnes, aangesloten aan SLR- (Satellite Laser Ranging) en VLBI-stations (Very Long Baseline Interferometry), welke resultaten later overigens nog verbeterd zijn. De resultaten zijn in het algemeen van een betere kwaliteit dan de nationale driehoeksnetten en tevens in drie dimensies: ligging en (ellipsoïdische) hoogte. In Nederland maken de vier punten Kootwijk, Westerbork, Huisduinen en Delft deel uit van het EUREF-netwerk. Het stelsel van de EUREF-campagne wordt aangeduid als ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989). ETRS89 was gelijk aan ITRF89 (International Terrestrial Reference System 1989) ten tijde van de EUREF89-meetcampagne. Sindsdien beweegt ETRS89 mee met de Europese aardschol. Voor alle landmeetkundige toepassingen waarbij met coördinaatverschillen over afstanden groter dan 100 km wordt gewerkt, kan ETRS89 gelijk gesteld worden aan WGS84 (World Geodetic System 1984), het coördinatensysteem van het GPS.

1.2 Drie NEREF-campagnes

In 1990 werd de eerste NEREF-campagne gemeten. Onder de naam NEREF/MAREO werd een netwerk gemeten waarin de elf belangrijkste peilmeetstations waren opgenomen. Als vervolg hierop werden in de periode van 9 tot en met 19 april 1991 GPS-metingen uitgevoerd voor de NEREF91-campagne. In dezelfde periode werden in Duitsland en in België GPS-metingen voor o.a. de verdichting van het Duitse referentiestelsel (onder de naam DREF) uitgevoerd. Tevens werd wederom op een aantal peilmeetstations langs de Noordzeekust gemeten. Inclusief de vier Nederlandse EUREF-punten werden in totaal 13 NEREF-punten bezocht. De NEREF94-campagne tenslotte werd uitgevoerd voor het verbeteren van de resultaten van de campagnes uit 1990 en 1991. Ook werd een solide basis gelegd voor toekomstige activiteiten, zoals het GPS-kennet en het verschaffen van gegevens voor het promotieonderzoek van De Min (zie ook Min, 1996), dat leidde tot een nieuwe geoid voor Nederland.

De praktische uitvoering van de metingen en berekeningen voor de NEREF-campagnes werd gedaan door de Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat, het Kadaster (Rijksdriehoeksmeting) en de Faculteit der Geodesie van de TU Delft. De Rijksdriehoeksmeting, onderdeel van de Dienst voor het kadaster en de openbare registers te Apeldoorn, heeft de zorg voor het horizontale referentienetwerk. De Meetkundige Dienst,

één van de technisch-wetenschappelijke diensten van de Rijkswaterstaat, is belast met de zorg voor het verticale referentienetwerk.

1.3 Subcommissie NEREF

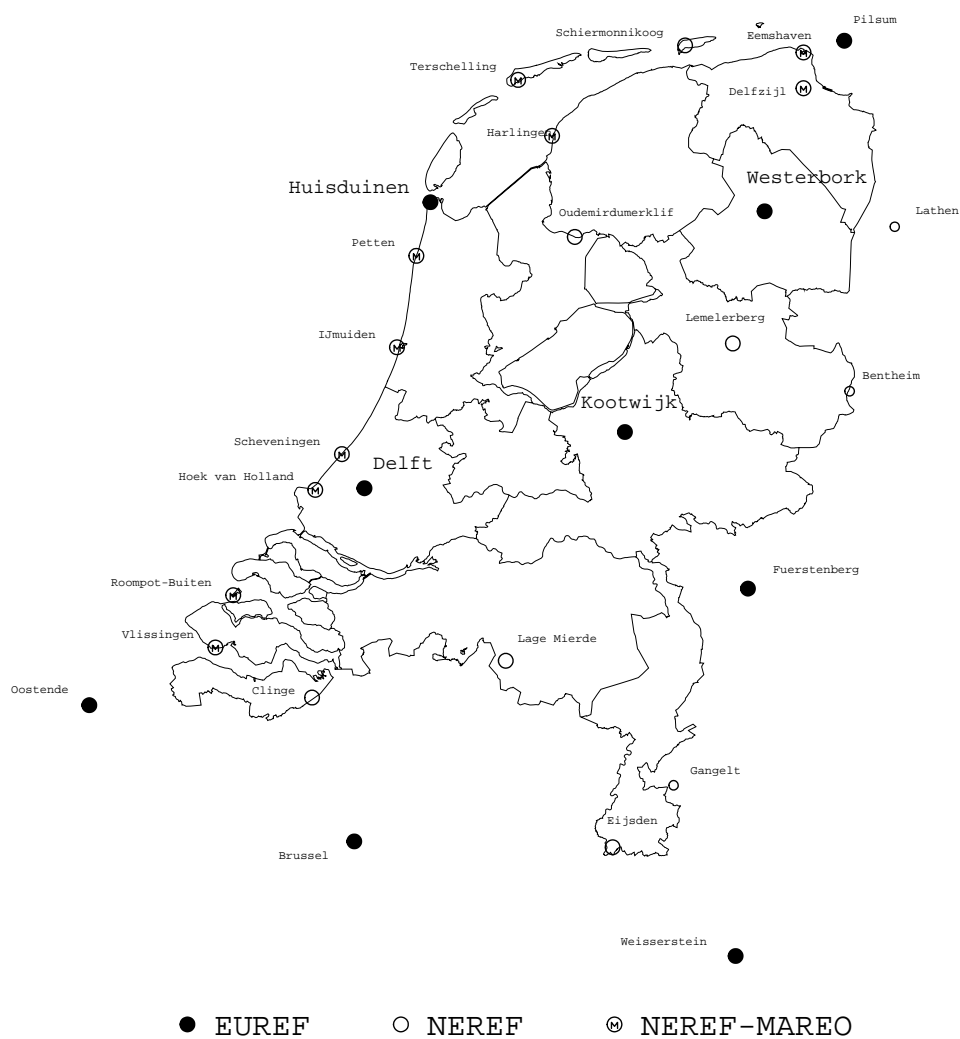
De Subcommissie NEREF van de Nederlandse Commissie voor Geodesie (NCG) heeft tot taak een gemeenschappelijke strategie voor onderzoek en ontwikkeling met betrekking tot geodetische referentiestelsels in Nederland te ontwikkelen. De naam van deze subcommissie is inmiddels gewijzigd in Subcommissie Geometrische Infrastructuur. De werkzaamheden op het terrein van referentiestelsels zijn in Nederland over meerdere diensten verdeeld volgens de traditionele benadering van de geodesie waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen horizontale, verticale en zwaartekrachtnetwerken. De Subcommissie NEREF stelt zich tot doel om te komen tot een meer integrale en gecoördineerde aanpak voor de Nederlandse referentiestelsels. De activiteiten in het kader van de NEREF- en de NEREF/MAREO-campagnes werden dan ook uitgevoerd onder auspiciën van de Subcommissie NEREF.

1.4 Doel van dit rapport

Het doel van dit rapport is om de doelstellingen, metingen en resultaten van de verschillende campagnes vast te leggen en beschikbaar te maken. Niet al het relevante materiaal is in dit rapport opgenomen. De puntdossiers, die gedetailleerde informatie bevatten over alle betrokken punten en alle data, opgeslagen op CD-ROM, zijn bij de Nederlandse Commissie voor Geodesie in Delft gearhiveerd.

2. Overzicht EUREF-, NEREF- en NEREF/MAREO-punten

2.1 Ligging van de NEREF-punten



Figuur 1. Ligging van de NEREF-punten.

2.2 Coderingen van de NEREF-punten

Excentriciteiten zijn bekend in XYZ (geocentrisch) of H (lokaal NAP-hoogteverschil).

Station	coderingen			omschrijving	excentriciteit
	EUREF	NEREF	RD		
Pilsum (D)	29	12		EUREF GPS-punt EUREF89 GPS-punt	XYZ
Lathen (D)		15		DREF GPS-punt	
Bentheim (D)		17		DREF GPS-punt	
Fürstenberg (D)	92	24		EUREF GPS-punt	
Gangelt (D)		27		DREF GPS-punt	
Weisserstein (D)	37	32		EUREF GPS-punt	
Oostende (B)	44	210	999301	EUREF GPS-punt	
Onsala				10402M004 ONSA 10402S002 7213	XYZ
Wetzell				14201S004 8834 14201M009 WETT	XYZ
Brussel				13101M004 BRUS	
	45			EUREF GPS-punt	XYZ
Westerbork	41	11	179811	EUREF GPS-punt NEREF94 GPS-punt	XYZ
Kootwijk	42	19	339334	EUREF89 GPS-punt EUREF GPS-punt	XYZ
				13504M003 KOSG 13504M002 8833	XYZ
Huisduinen	40	203	99803	EUREF GPS-punt	
Delft	43	207	370351	EUREF GPS-punt	
Schiermonnikoog		201	20308	NEREF GPS-punt	
Terschelling		202	59306	MAREO GPS-spijker NEREF GPS-punt	H
Oudemirdumerklif		204	150203	NEREF GPS-punt	
Lemelerberg		205	289101	NEREF GPS-punt	
Ijmuiden		206	240318	MAREO GPS-spijker NEREF GPS-punt	XYZ
Roompot-Buiten		208	429304	MAREO GPS-spijker NEREF GPS-punt	H
Lage Mierde		209	500324	NEREF GPS-punt	
Clinge		211	559311	NEREF GPS-punt hersteld 930804	XYZ
Eijsden		213	610324	NEREF GPS-punt	
Delfzijl		301		MAREO GPS-spijker gezakt?	H
Eemshaven		302		MAREO GPS-spijker NEREF94 GPS-punt	
Petten		303		OM NAP dop niet verwijderd	H
Scheveningen		304		MAREO GPS-spijker	
Hoek van Holland		305		MAREO GPS-spijker NEREF94 GPS-punt	
Vlissingen		306		MAREO GPS-spijker	
Harlingen				MAREO GPS-spijker	

Tabel 1. Coderingen van de NEREF-punten.

2.3 Stationsbezettingen in de Europese campagnes

<i>Station</i>	<i>omschrijving</i>	<i>excentri- citeit</i>	<i>EUREF- D/NL93</i>	<i>EUREF89</i>	<i>ITRF94</i>
Pilsam (D)	EUREF GPS-punt	XYZ	o		
	EUREF89 GPS-punt	XYZ		o	
Lathen (D)	DREF GPS-punt				
Bentheim (D)	DREF GPS-punt				
Fürstenberg (D)	EUREF GPS-punt		o	o	
Gangelt (D)	DREF GPS-punt				
Weisserstein (D)	EUREF GPS-punt idem		o	o	
Oostende (B)	EUREF GPS-punt			o	
Onsala	10402M004 ONSA	XYZ			o
	10402S002 7213	XYZ	o		
Wetzell	14201S004 8834	XYZ			o
	14201M009 WETT	XYZ	o		
Brussel	13101M004 BRUS	XYZ			o
	EUREF GPS-punt	XYZ		o	
Westerbork	EUREF GPS-punt	XYZ	o	o	
	NEREF94 GPS-punt	XYZ			
Kootwijk	EUREF89 GPS-punt	XYZ		o	
	EUREF GPS-punt	XYZ			
	13504M003 KOSG	XYZ			o
	13504M002 8833	XYZ	o		
Huisduinen	EUREF GPS-punt		o	o	
Delft	EUREF GPS-punt		o	o	
Schiermonnikoog	NEREF GPS-punt				
Terschelling	MAREO GPS-spijker	H			
	NEREF GPS-punt	H			
Oudemirdumerklif	NEREF GPS-punt				
Lemelerberg	NEREF GPS-punt				
Ijmuiden	MAREO GPS-spijker	XYZ			
	NEREF GPS-punt	XYZ			
Roompot-Buiten	MAREO GPS-spijker	H			
	NEREF GPS-punt	H			
Lage Mierde	NEREF GPS-punt				
Clinge	NEREF GPS-punt	XYZ			
	hersteld 930804	XYZ			
Eijsden	NEREF GPS-punt				
Delfzijl	MAREO GPS-spijker				
	gezakt?				
Eemshaven	MAREO GPS-spijker				
	NEREF94 GPS-punt				
Petten	OM NAP				
	dop niet verwijderd				
Scheveningen	MAREO GPS-spijker				
Hoek van Holland	MAREO GPS-spijker				
	NEREF94 GPS-punt				
Vlissingen	MAREO GPS-spijker				
Harlingen	MAREO GPS-spijker				

Tabel 2. Stationsbezettingen in de Europese campagnes.

2.4 Puntdossiers

Bij de Nederlandse Commissie voor Geodesie bevinden zich puntdossiers met daarin beeld- en ander materiaal betreffende de NEREF-punten. Bij de Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat in Delft en het Kadaster in Apeldoorn bevinden zich kopieën van deze dossiers. Zie bijlage 1 voor de inhoud van deze dossiers.

3. De NEREF/MAREO90-campagne

3.1 Doelstellingen

De meting van de hoogte van de peilmeetstations langs de Nederlandse kust met behulp van GPS gebeurt in het kader van een onderzoek naar zeespiegelvariatie. Om Nederland ook in de toekomst in voldoende mate droog te kunnen houden is een goede kennis van de te verwachten zeespiegelvariatie nodig en van de mechanismen die voor deze (relatieve) rijzing verantwoordelijk zijn. Eén van deze mechanismen is de bodemdaling die, zoals de analyses van waterpassingen aantonen, langs een groot deel van de Nederlandse kust blijkt plaats te hebben. Deze bodemdaling beïnvloedt uiteraard ook de registraties van peilmeetstations, hetgeen de juiste interpretatie van deze registraties bemoeilijkt. Een goede kennis van de bodemdaling is dus gewenst. Alleen herhaalde metingen kunnen de hiervoor benodigde informatie leveren. Aangezien waterpassen voor dit doel een tijdrovende en dus dure methode is, is het idee ontstaan om enkele belangrijke peilmeetstations regelmatig met GPS te meten. De geometrische (ellipsoïdische) hoogten die dit oplevert kunnen weliswaar niet direct vergeleken worden met de resultaten van eerdere waterpassingen, maar een vergelijking van opeenvolgende metingen zullen relatieve veranderingen aantonen. Belangrijk daarbij is ook de inpassing van de Nederlandse gegevens in Europees verband, met name wat betreft België en Duitsland.

3.2 Metingen

Het ontwerp van het NEREF/MAREO90-netwerk is beperkt van omvang. Alleen de elf belangrijkste peilmeetstations zijn opgenomen: Delfzijl, Eemshaven, Terschelling, Harlingen, Den Helder, Petten, IJmuiden, Scheveningen, Hoek van Holland, Roompot-Buiten en Vlissingen. Bij het peilmeetstation Den Helder werd geen aparte GPS-opstelling gemaakt door de korte afstand naar het EUREF-punt Huisduinen. Het peilmeetstation werd met een waterpassing met Huisduinen verbonden. Vlakbij het EUREF-punt Oostende staat een (Belgisch) peilmeetstation.

Het netwerk met peilmeetstations werd aangesloten aan EUREF-punten; in Nederland Delft, Kootwijk, Westerbork en Huisduinen, in België Oostende en in Duitsland Pilsum.

De campagne werd opgesplitst in vier elkaar gedeeltelijk overlappende deelcampagnes, van respectievelijk 3, 3, 2 en 3 dagen meten, waarin elk station (met uitzondering van Terschelling) minimaal drie dagen bezet is geweest, zie onderstaande tabel 3.

De metingen werden uitgevoerd van 17 tot en met 27 juli 1990, respectievelijk dag 198 tot en met 208.

Er werd gebruik gemaakt van acht Trimble tweefrequentie-GPS-ontvangers. De ontvangers werden beschikbaar gesteld door de volgende instanties:

TU Delft	2 stuks 4000SST
Rijksdriehoeksmeting	2 stuks 4000SLD

Station	omschrijving	dag 198	dag 199	dag 200	dag 201	dag 202	dag 203	dag 204	dag 205	dag 206	dag 207	dag 208
Pilsum (D)	EUREF GPS-punt EUREF89 GPS-punt	o	o	o								
Lathen (D)	DREF GPS-punt											
Bentheim (D)	DREF GPS-punt											
Fürstenberg (D)	EUREF GPS-punt											
Gangelt (D)	DREF GPS-punt											
Weisserstein (D)	EUREF GPS-punt idem											
Oostende (B)	EUREF GPS-punt									o	o	o
Onsala	10402M004 ONSA 10402S002 7213											
Wetzell	14201S004 8834 14201M009 WETT											
Brussel	13101M004 BRUS EUREF GPS-punt											
Westerbork	EUREF GPS-punt NEREF94 GPS-punt	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Kootwijk	EUREF89 GPS-punt EUREF GPS-punt 13504M003 KOSG 13504M002 8833	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Huisduinen	EUREF GPS-punt	o	o	o	o	o	o					
Delft	EUREF GPS-punt							o	o	o	o	o
Schiermonnikoog	NEREF GPS-punt											
Terschelling	MAREO GPS-spijker NEREF GPS-punt		o	o								
Oudemirdumerklif	NEREF GPS-punt											
Lemelerberg	NEREF GPS-punt											
IJmuiden	MAREO GPS-spijker NEREF GPS-punt				o	o	o	o	o			
Roompot-Buiten	MAREO GPS-spijker NEREF GPS-punt							o	o	o	o	o
Lage Mierde	NEREF GPS-punt											
Clinge	NEREF GPS-punt hersteld 930804											
Eijsden	NEREF GPS-punt											
Delfzijl	MAREO GPS-spijker gezakt?	o	o	o								
Eemshaven	MAREO GPS-spijker NEREF94 GPS-punt	o	o	o								
Petten	OM NAP dop niet verwijderd					o	o	o				
Scheveningen	MAREO GPS-spijker				o	o	o	o	o			
Hoek van Holland	MAREO GPS-spijker NEREF94 GPS-punt							o	o	o	o	o
Vlissingen	MAREO GPS-spijker									o	o	o
Harlingen	MAREO GPS-spijker	o	o	o	o	o	o					

Tabel 3. Stationsbezettingen in de NEREF/MAREO90-campagne.

Meetkundige Dienst 3 stuks 4000SST (gehuurd van Osiris Seaways)
LVA Niedersaksen 1 stuks 4000SST (dag 199 en 200 op Pilsum).

Op de stations Delft, Kootwijk, Westerbork en Huisduinen kon onbemand worden gemeten. Voor de bezetting van de permanente stations Kootwijk en Westerbork werden SST-ontvangers ingezet wegens hun grotere aantal kanalen (acht) dan de vijfkanalaals

SLD-ontvangers. Ten tijde van de campagne was de satellietconfiguratie zodanig, dat maximaal 8 satellieten tegelijkertijd boven 15° elevatie konden worden waargenomen. Dit betekende dat voor de SLD een selectie gemaakt moest worden uit het aanbod van satellieten.

Op 17 juli, de eerste dag van de metingen, was een continu meetvenster, met tenminste vier satellieten, van 04.00 tot 11.10 uur UTC beschikbaar. Deze periode werd geheel benut voor het uitvoeren van de metingen. Door de omlooptijd van de satellieten van precies 12 uur, gevoegd bij de draaiing van de aarde om de zon, verschuift de satellietconfiguratie, en dus ook dit meetvenster, elke dag vier minuten in de tijd terug.

Bij de peilmeetstations werden op korte afstand tijdelijke verzekeringen aangebracht in de vorm van meetspijkers in een stabiele ondergrond. De GPS-antenne werd opgesteld boven deze tijdelijke verzekering. De verkenningseisen voor de verzekeringen waren slechts tweërlei, (1) zo weinig mogelijk obstakels boven 15° elevatie en (2) een goede bereikbaarheid per auto.

In 1990 was er nog weinig aandacht voor het gevaar van multipath. Gezien de lange meetduur waardoor dit effect bij de basislijnberekening grotendeels geëlimineerd wordt, was daar ook weinig aanleiding toe.

De hoogte van de tijdelijke verzekeringen werd voor en na de meting door waterpassen bepaald uit de NAP-bout in het peilmeetstation.

3.3 Antennekalibraties

Bij het gebruik van twee typen ontvangers, in dit geval Trimble 4000SLD en 4000SST (verder aangeduid met SLD en SST), moet rekening gehouden worden met verschillen in antennekarakteristieken, in het bijzonder de hoogte van het fasecentrum. Om het verschil in fasecentrum tussen SLD- en SST-antennes vast te stellen, werden met de ontvangers van de Rijksdriehoeksmeting kalibratiemetingen uitgevoerd tussen twee opstellingen op het dak van Kadastergebouw met een afstand van 5 meter (zie Buren, 1991). Deze basislijn werd in verschillende configuraties in totaal 21 maal gemeten. Als referentie werd de SST-antenne met serienummer 386 genomen. Uit eerdere kalibraties was reeds komen vast te staan dat de verschillen tussen antennes van hetzelfde type, maar met verschillende serienummers, te klein zijn om met satellietmetingen significant te kunnen worden aangetoond. Ten opzichte van de SST-antenne 386 werden de volgende excentriciteiten (offsets) gemeten voor de SLD-antennes:

<i>Serienummer</i>	<i>frequentie</i>	<i>offset Oost</i>	<i>offset Noord</i>	<i>offset omhoog</i>
0059	L1	0,0002	-0,0008	-0,0041
0059	L2	-0,0002	-0,0016	-0,0057
0174	L1	0,0014	-0,0004	-0,0042
0174	L2	0,0006	-0,0011	-0,0056
gemiddeld		0,0005	-0,0010	-0,0049

Tabel 4. Fasecentrum offsets van Trimble 4000SLD-antennes ten opzichte van de 4000-SST-antenne met serienummer 386, bepaald uit korte basislijnen.

Op grond van deze metingen werd voor de SLD-antennes de horizontale offset op nul gesteld en een verticale offset in rekening gebracht van -5 mm. Dit betekent dat de antennehoogten, gemeten tot de onderkant van de zogenaamde grondplaat van de 4000-

SLD-antenne (de grote metalen plaat die ongewenste reflecties, vooral vanaf de grond, tegenhoudt) met 5 mm verminderd moeten worden. Vaak werd deze correctie pas tijdens de netvereffening geëffectueerd. In de kop van het invoerbestand staat dan: "De antennehoogten van de SLD-antennes zijn met -5 mm gecorrigeerd."

Voor en na de metingen in het terrein werden ook nog kalibratiemetingen uitgevoerd over basislijnen van enkele tientallen meters. Deze metingen hebben echter niet geleid tot het bepalen van antenne-offsets. Het uitvoeren van deze metingen had ook ten doel om alle ingezette apparatuur en de procedures, b.v. voor de antennehoogtemeting, te testen.

In latere NEREF-campagnes werden geen kalibratiemetingen meer uitgevoerd. Voor antennes van een gelijk type werd aangenomen dat de verschillen niet significant zijn. Bij langdurige metingen, zoals in deze campagnes, zullen eventueel aanwezige toevallige kleine individuele verschillen in de ligging van fasecentra bovendien uitmiddelen. Voor antennes van verschillend type werden de internationaal geaccepteerde fasecentra verschillen gebruikt (zie ook Antenna dimensions).

3.4 Resultaten

Enkele basislijnen zijn in eerste instantie berekend met de Trimblesoftware TRIMVEC. Later zijn alle basislijnen bovendien berekend met OSCAR-software (basislijnrekeningspakket van de firma OSIRIS). Met OSCAR zijn uitsluitend z.g. triple-difference-oplossingen berekend. Triple-difference-oplossingen zijn minder precies dan de meer gebruikelijke double-difference-oplossingen, maar voor lange basislijnen (stand van zaken 1990) iets robuuster.

Een onafhankelijke set van door OSIRIS berekende basislijnen is gebruikt om met het 3-D-netvereffeningsprogramma HANNA een voorlopige berekening van het netwerk te maken. De basislijnen zijn als vrij net verreffend met Kootwijk als basispunt. Als kansmodel is voor alle basislijnen een vaste standaardafwijking per basislijncomponent van 2,5 cm genomen. De F-toets werd bij deze berekening nog net verworpen.

De bij deze berekeningen behorende kwaliteit was uiteraard onvoldoende. In 1993 zijn daarom alle gegevens van deze campagne (nogmaals) doorgerekend, maar nu met een door de TU Delft bewerkte versie van de Bernse software (versie 3.2-D). Hierbij is ook gebruik gemaakt van de baanverbeteringsmodule van genoemde software (Mulder, 1993).

De eindresultaten van deze berekening waren eigenlijk beter dan op grond van de eerste HANNA-vereffening werd verwacht. Uiteindelijk is de berekening (zie ook Molen-dijk, 1992) als eindoplossing van de NEREF/MAREO90-campagne geaccepteerd.

De precisie van de resultaten van de eerste MAREO-campagne is niet voldoende geweest om op korte termijn uitspraken te kunnen doen over een eventuele zeespiegelvariatie. Wel kan de campagne gezien worden als een nuttige oefening om met vervolgcampagnes een steeds nauwkeuriger resultaat te behalen.

4. De NEREF91-campagne

4.1. Doelstellingen

De belangrijkste redenen voor het uitvoeren van de NEREF91-GPS-campagne waren:

- Een eerste verdichting van EUREF, zodat makkelijker aangesloten kan worden aan punten met bekende EUREF-coördinaten. De afstanden tussen de vier EUREF-punten in Nederland werd grofweg gehalveerd.
- Bepaling van transformatieparameters tussen RD/NAP en WGS84 (ETRS89).
- Monitoren van peilmeetstations langs de Nederlandse kust. Als vervolg op de NEREF/MAREO90-GPS-campagne.

4.2 Metingen

Bij de verkenning van de NEREF-punten werden de volgende criteria gehanteerd:

1. De Nederlandse EUREF-punten en de aansluitende EUREF-punten in Duitsland en België moesten onderdeel uitmaken van het net.
2. Onderlinge afstanden van rond de 60 km. Voor deze eerste verdichting werden de afstanden tussen de EUREF-punten grofweg gehalveerd.
3. Blijvend vrij zicht boven tenminste 15° elevatie. Hierbij werd ook rekening gehouden met de groei van bomen en de waarschijnlijkheid van nieuwe bebouwing.
4. Goede aansluiting aan het RD, liefst aan eerste-ordepunten.
5. Goede aansluiting aan het NAP, liefst aan ondergrondse merken.
6. Goede verzekeringsmogelijkheden, bij voorkeur bronzen bouten in bouwwerken of anders RD-stenen. Bij gebruik van een RD-steen als GPS-opstelpunt moet er een stabiele hoogtevastlegging in de nabijheid zijn.

In week 15 en 16, van 9 tot en met 19 april 1991, werd het NEREF91-netwerk gemeten. In deze periode werd in Duitsland de DREF-campagne gemeten (ook wel aangeduid als het GPS-Grundnetz), een met NEREF vergelijkbaar netwerk met 109 punten. Door een afgestemde planning van de Nederlandse metingen werden verbindingen verkregen met in Duitsland gelegen punten door bij de berekening gebruik te maken van de Duitse waarnemingen. Bovendien werden in het Belgische Uccle GPS-metingen uitgevoerd. Door deze overlappingen is een aansluiting aan de buurlanden mogelijk. Door de Meetkundige Dienst werden tegelijkertijd metingen uitgevoerd op een aantal peilmeetstations langs de Noordzeekust als een vervolgmeting op de NEREF/MAREO90-campagne.

Nederland zorgde voor de bezetting van de 13 NEREF-punten in Nederland en het EUREF-punt Oostende. De metingen werden uitgevoerd met zes ontvangers, tweefrequentie-ontvangers van het merk Trimble:

- 3 Trimble 4000SST-ontvangers (2 exemplaren van de TU Delft, alsmede 1 exemplaar door de Meetkundige Dienst gehuurd);
- 2 Trimble 4000SST-IIP (Rijksdriehoeksmeting);
- 1 Trimble 4000SLD (Rijksdriehoeksmeting).

Station	omschrijving	dag	dag	dag	dag	dag	dag	dag	dag	dag	dag
		99	100	101	102	103	105	106	107	108	109
Pilsum (D)	EUREF GPS-punt EUREF89 GPS-punt	o	o								
Lathen (D)	DREF GPS-punt	o	o								
Bentheim (D)	DREF GPS-punt						o	o			
Fürstenberg (D)	EUREF GPS-punt						o	o			
Gangelt (D)	DREF GPS-punt						o	o			
Weisserstein (D)	EUREF GPS-punt idem						o	o			
Oostende (B)	EUREF GPS-punt								o	o	
Onsala	10402M004 ONSA 10402S002 7213										
Wetzell	14201S004 8834 14201M009 WETT										
Brussel	13101M004 BRUS EUREF GPS-punt						o	o	o	o	o
Westerbork	EUREF GPS-punt NEREF94 GPS-punt	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Kootwijk	EUREF89 GPS-punt EUREF GPS-punt 13504M003 KOSG 13504M002 8833			o	o	o	o	o	o	o	o
Huisduinen	EUREF GPS-punt	o	o	o							
Delft	EUREF GPS-punt				o		o	o	o		
Schiermonnikoog	NEREF GPS-punt	o	o								
Terschelling	MAREO GPS-spijker NEREF GPS-punt	o	o								
Oudemirdumerklif	NEREF GPS-punt	o			o						
Lemelerberg	NEREF GPS-punt		o		o		o	o			
IJmuiden	MAREO GPS-spijker NEREF GPS-punt			o	o						
Roompot-Buiten	MAREO GPS-spijker NEREF GPS-punt								o	o	
Lage Mierde	NEREF GPS-punt						o	o		o	
Clinge	NEREF GPS-punt hersteld 930804								o	o	
Eijsden	NEREF GPS-punt						o	o			
Delfzijl	MAREO GPS-spijker gezakt?										
Eemshaven	MAREO GPS-spijker NEREF94 GPS-punt	o	o								
Petten	OM NAP dop niet verwijderd			o	o						
Scheveningen	MAREO GPS-spijker										
Hoek van Holland	MAREO GPS-spijker NEREF94 GPS-punt						o	o			
Vlissingen	MAREO GPS-spijker								o	o	
Harlingen	MAREO GPS-spijker										

Tabel 5. Stationsbezettingen in de NEREF91-campagne.

De metingen werden uitgevoerd door medewerkers van de Rijksdriehoeksmeting, de Meetkundige Dienst en de TU Delft.

De EUREF-punten Kootwijk en Westerbork werden gedurende de gehele campagne continu bezet. De overige 15 punten werden door mobiele ontvangers gedurende minimaal twee dagen bezet. Op 9 april waren de sessies van 07.20 tot 10.30 uur en van 10.50 tot 14.20 uur UTC. Als minimale elevatie werd de gebruikelijke 15° aangehou-

den. Op verzoek van de Duitse meetdienst werd op Westerbork en Kootwijk langer gemeten, n.l. 10 uur per dag, b.v. op 9 april van 04.30 tot 14.30 uur met een minimale elevatie van 10°.

De eerste twee dagen werd de ontvangst op het Satellietstation Kootwijk ernstig gestoord. Dit werd voorlopig opgelost door niet het EUREF-punt, maar een stationspunt aan de zijkant van het gebouw als opstelpunt te kiezen. Toen de permanent opgestelde Rogue-ontvanger de stoorzender bleek te zijn, werd deze uitgeschakeld en konden in de loop van 11 april de metingen weer met de gebruikelijke kwaliteit op het EUREF-stationspunt worden hervat. Gedurende één sessie werd een satelliet, ten onrechte, van ontvangst uitgesloten.

Tijdens de meetcampagne werd op een ander punt in Eemshaven opgesteld dan in de campagne van 1990. Het punt was ontoegankelijk door havenactiviteiten. De tweede dag werd op IJmuiden de opstelling bemoeilijkt doordat door overvloedige regenval de puntverzekering enkele dm onder water lag.

Voor het overige verliepen alle metingen volgens plan.

De hoogtebepaling werd door de Meetkundige Dienst uitgevoerd door waterpassing, uitgaande van ondergrondse merken van het NAP.

4.3 Resultaten

Allereerst werd een berekening uitgevoerd met alleen de door Nederland verzamelde data, wegens het nog niet beschikbaar zijn van de buitenlandse data.

Met de TRIMVEC versie 91.023 basislijnprogrammatuur werden afzonderlijke, niet afhankelijke, basislijnen berekend. Bij de keuze van de basislijnen werd uitgegaan van de kortste verbindingslijnen en het construeren van zoveel mogelijk gesloten figuren. Als beste oplossing werden de triple-difference-oplossingen gekozen met de "ionosfeervrije" combinatie van L1 en L2.

Voor het kansmodel werden als uitgangspunt de drie bij drie variantiematrices van de basislijnen uit TRIMVEC genomen. Gezien de onrealistisch kleine waarden voor de varianties werden deze matrices zodanig geschaald, dat de halve lange as van de standaardellips in het RD-vlak gelijk werd aan 1 p.p.m. van de basislijn lengte.

Met de 85 "Nederlandse" basislijnen werd een eerstefasevereffening uitgevoerd met het netvereffeningsprogramma HANNA, gebaseerd op SCAN-II. In eerste instantie werd één basislijn verworpen. Na verwijdering van deze basislijn waren de resultaten als volgt:

Aantal punten	15
Aantal waarnemingen totaal	255
GPS basislijncomponenten	3 x 84 = 252
Coördinatenverschillen tussen stationspunten in Kootwijk	3
Aantal vrijheidsgraden	213
F-toets (kritiek waarde 1,000)	0,676
Geen overschrijdingen van de w-toets	
Grootste correctie aan de waarnemingen	0,301 m

Tabel 6. Resultaten NEREF91.

De resultaten van deze berekening zijn gebruikt voor een berekening van de transformatieparameters tussen RD en WGS84, zie hoofdstuk 7, en zijn later nog gecontroleerd door berekening met SCAN3.

De NEREF91-campagne kan een succes genoemd worden wat het bepalen van transformatieparameters tussen RD/NAP en ETRS89 betreft. Deze transformatieparameters worden sindsdien algemeen gebruikt. De doelstelling van het met GPS monitoren van de peilmeetstations werd ook met deze campagne nog niet bereikt. Gezien het kleine tijdsverschil met de campagne in 1990 en het gebruik van triple-difference-oplossingen is dat niet verwonderlijk.

5. De NEREF94-campagne

5.1 Doelstellingen

De overwegingen om nog een NEREF-campagne uit te voeren waren:

- Het verbeteren van de resultaten van de campagnes uit 1990 en 1991 tot een solide basis voor toekomstige activiteiten, zoals het (aansluiten van het) GPS-kernet.
- Verschaffen van aanvullende gegevens voor de berekening van een nieuwe geöïde voor Nederland (promotie onderzoek De Min, zie Min, 1996).
- De behoefte voor het opbouwen van een meetreeks bij de MAREO-stations voor het detecteren van (bodem)beweging bij peilmeetstations.

Wat tevens meespeelde was de met de huidige GPS-metingen te behalen verbetering in de precisie van de hoogtecomponent (m.n. voor de laatste twee doelen) door gebruik te maken van nieuwe GPS-hard- en -software, precieze satellietbaangegevens (IGS, International GPS Geodynamics Service) en verbeterde EUREF-coördinaten.

De gebruikte punten waren in hoofdzaak de eerder gebruikte NEREF- en MAREO-punten, aangevuld met Duitse en Belgische EUREF-punten. Uiteindelijk werden geen extra tussenpunten bepaald, wat voor het doel van de geöïdebepaling wel was overwogen. Het GPS-kernet moet uiteindelijk een verdichting gaan vormen van NEREF en daarmee van de Europese vereffening. GPS-kernetpunten zijn in eerste instantie bedoeld om met GPS op eenvoudige wijze aan de bestaande referentiestelsels RD en NAP te kunnen aansluiten. Deze punten zijn geschikt om er een GPS-antenne direct boven op te stellen, waarbij de ongestoorde ontvangst van satelliet signalen zoveel mogelijk gewaarborgd wordt. GPS-kernetpunten worden in eerste instantie lokaal bepaald zodat een snelle realisatie daar waar nodig uitgevoerd kan worden. In 1996 moeten alle, ongeveer 400, kernnetpunten geplaatst zijn. In 1997 zullen ook alle verbindingen tussen kernnetpunten gemeten zijn, waarmee een buitengewoon sterk net zal zijn gevormd (zie Odijk, 1994).

5.2 Metingen

Er werd gekozen voor een meetopzet als die van een meting met permanente stations. De vier Nederlandse EUREF-stations, Huisduinen, Westerbork, Delft en Kootwijk werden continu bezet. Het kiezen van een dergelijke meetopzet werd ingegeven door het idee dat toekomstige meetcampagnes altijd gesteund zullen worden door de data van permanent opererende stations.

De NEREF94-campagne heeft plaatsgevonden in de week van 24 oktober tot en met 28 oktober 1994 en is uitgevoerd door de Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat, de Rijksdriehoeksmeting van het Kadaster en de Faculteit der Geodesie van de TU Delft.

Tijdens de NEREF94-campagne zijn de EUREF-stations bezet door twee Turbo Rogues (Kootwijk en Delft) en twee Trimble 4000SSE GPS-ontvangers van de TU Delft (Westerbork en Huisduinen). De NEREF-stations zijn bezet door acht Trimble 4000SSE-GPS-ontvangers van de Rijksdriehoeksmeting met personeel van de Rijksdriehoeksmeting en

de Meetkundige Dienst. De operatoren van de Meetkundige Dienst werden bij de Rijks-driehoeksmeting geïnstrueerd voor het bedienen van de Trimble-ontvangers.

<i>Station</i>	<i>omschrijving</i>	<i>dag</i>	<i>dag</i>	<i>dag</i>	<i>dag</i>	<i>dag</i>
		297	298	299	300	301
Pilsum (D)	EUREF GPS-punt EUREF89 GPS-punt					
Lathen (D)	DREF GPS-punt					
Bentheim (D)	DREF GPS-punt					
Fürstenberg (D)	EUREF GPS-punt					
Gangelt (D)	DREF GPS-punt					
Weisserstein (D)	EUREF GPS-punt idem					
Oostende (B)	EUREF GPS-punt					
Onsala	10402M004 ONSA	0	0	0	0	0
	10402S002 7213					
Wetzell	14201S004 8834	0	0	0	0	0
	14201M009 WETT					
Brussel	13101M004 BRUS	0	0		0	0
	EUREF GPS-punt					
Westerbork	EUREF GPS-punt					
	NEREF94 GPS-punt	0	0	0	0	0
Kootwijk	EUREF89 GPS-punt					
	EUREF GPS-punt					
	13504M003 KOSG	0	0	0	0	0
	13504M002 8833					
Huisduinen	EUREF GPS-punt	0	0	0	0	0
Delft	EUREF GPS-punt	0	0	0	0	0
Schiermonnikoog	NEREF GPS-punt			0	0	
Terschelling	MAREO GPS-spijker					
	NEREF GPS-punt	0	0	0		
Oudemirdumerklif	NEREF GPS-punt		0	0		
Lemelerberg	NEREF GPS-punt		0	0		
Ijmuiden	MAREO GPS-spijker					
	NEREF GPS-punt				0	0
Roompot-Buiten	MAREO GPS-spijker					
	NEREF GPS-punt			0	0	
Lage Mierde	NEREF GPS-punt			0	0	
Clinge	NEREF GPS-punt					
	hersteld 930804				0	0
Eijsden	NEREF GPS-punt		0			0
Delfzijl	MAREO GPS-spijker					
	gezakt?				0	0
Eemshaven	MAREO GPS-spijker					
	NEREF94 GPS-punt	0	0	0		
Petten	OM NAP				0	0
	dop niet verwijderd					
Scheveningen	MAREO GPS-spijker		0	0		
Hoek van Holland	MAREO GPS-spijker					
	NEREF94 GPS-punt	0				0
Vlissingen	MAREO GPS-spijker	0	0			
Harlingen	MAREO GPS-spijker					

Tabel 7. Stationsbezettingen in de NEREF94-campagne.

In tabel 7 is aangegeven welke stations wanneer bezet zijn geweest. Hoewel dit niet uit de tabel blijkt, is het belangrijk om te vermelden dat de start- en stoptijden (van zowel ochtend- en middagsessies) op simultaan gemeten stations *niet* precies samenvallen. Lees: op het ene station is dus begonnen met waarnemen om 9.00 uur terwijl op een ander station pas om 9.30 uur is begonnen.

Op de EUREF-stations is steeds 24 uur continu waargenomen, de overige sessies hebben een lengte van ongeveer drie uur. De metingen werden uitgevoerd in week 43 van maandag 24 oktober 1994 (dag 297) tot en met vrijdag 28 oktober (dag 301).

Met behulp van de bij de Bernse software geleverde pc-conversieprogramma's zijn de files met ruwe GPS-data geconverteerd naar data in RINEX-formaat, (zie Molendijk, 1996).

De kenmerken van de GPS-metingen waren:

- synchronisatietijd 30 s;
- minimale elevatie 15°;
- bestandsnamen punt/dag/sessie:

EUREF-puntnummers	011 - 019;
NEREF-puntnummers	201 - 213;
MAREO-puntnummers	301 - 306.

Voor het meten van de antennehoogten van antennes die op een statief werden geplaatst werd de RD-procedure voor antennehoogtemeting aangehouden. Dit betekent kort samengevat dat de antennehoogte werd gemeten d.m.v. een centreerstaaf en een rolmaat vanaf het stationspunt (bout, spijker) loodrecht tot de onderkant van de antenneplaat (ground plate). Ter controle werd de meting met de rolmaat herhaald met de verschoven maatverdeling op de achterkant van de rolmaat en werd met de (Trimble) meetstok de schuine afstand tot de rand van de antenneplaat gemeten. Op de EUREF-punten werd alleen met een rolmaat vanaf de opstelplaat direct onder de antenne gemeten.

5.3 Resultaten

De basislijnverwerking is uitgevoerd met de Bernse software versie 3.5 van het Astronomisches Institut Universität Bern (AIUB). Aansluiting aan EUREF, toetsing en verwerping van basislijnen is uitgevoerd met de SCAN3-software van de TU Delft.

Uitgangspunt vormden hierbij de vijf dagoplossingen (dag 297 tot en met dag 301), bestaande uit een set coördinaten met bijbehorende covariantiematrix. In deze individuele Bernse (dag)oplossingen zijn de coördinaten van het station Kootwijk vastgehouden.

De uitgevoerde SCAN3-berekeningen zijn onder te verdelen in een tweetal stappen. In de eerste stap zijn de vijf dagoplossingen als vrij netwerk gecombineerd. In de tweede stap is informatie over de ETRS89-coördinaten van de IGS-stations Onsala, Wettzell, Kootwijk en Brussel toegevoegd. Herstmonceux is in de Bernse berekeningen al geschrapt.

Bij beide stappen is gekeken naar onjuiste coördinaten (bijvoorbeeld door fouten in centrering of antennehoogte) en naar het bijstellen van het kansmodel van de sets coördinaten (door het aanpassen van de schaalfactor op de bijbehorende covariantiematrix).

Het resultaat van deze berekeningen (zie ook Molendijk, 1996) is, zoals verwacht, beter dan dat van de voorgaande NEREF-campagnes.

6. Aansluiting aan RD en NAP

6.1 Aansluiting aan RD

6.1.1 Inleiding

Voor de verkrijging van goede transformatieparameters tussen het RD-stelsel enerzijds en NEREF (EUREF) anderzijds, werden de NEREF-punten verbonden met omliggende eerste-orde-RD-punten. Deze verbindingen werden gerealiseerd met nauwkeurige GPS-basislijnen. Aangezien de eerste-ordepunten gemiddeld 40 km uit elkaar liggen moesten langere basislijnen gemeten worden dan de bij de RD gebruikelijke 2 à 5 km afstand tot het dichtstbijzijnde RD-punt.

6.1.2 Onderzoek naar de benodigde meetduur

Voorafgaand aan de uitvoering van de eigenlijke metingen voor het verbinden van de NEREF-punten met eerste-orde-RD-punten werd een onderzoek uitgevoerd naar de benodigde meetduur.

Van 10 tot en met 14 mei 1993 (dag 130 tot en met 134) werden met Trimble 4000SSE-ontvangers GPS-metingen uitgevoerd op de Nederlandse EUREF-punten in het kader van de EUREF-D/NL93-campagne. De meetperioden bedroegen iets minder dan 24 uur, het interval 15 s. Uit deze campagne werden de meetbestanden van Kootwijk en Delft gekozen als basismateriaal voor het onderzoek. De afstand Kootwijk Delft bedraagt 100 km. Dat is meer dan de langste afstand die in de eerste-orde-aansluiting zou voorkomen. Basislijnen werden berekend vanuit Kootwijk onder het vasthouden van de EUREF-coördinaten voor dit punt. De berekeningen werden uitgevoerd met GPSurvey versie 1.10. Met deze versie konden nog geen precieze baangegevens, uit externe bron, worden gebruikt. De GPS-satellietconstellatie bestond in mei 1993 uit 22 satellieten. De P-code kon nog, ongehinderd door Anti Spoofing (AS), ontvangen worden.

De bestanden van dag 130 werden gebruikt voor een serie basislijnberekeningen van respectievelijk 1, 2, 3 en 4 uur om de noodzakelijke meettijd te bepalen. Om de aansluiting van NEREF aan de eerste-ordepunten zinvol te laten zijn en ook nog een uitspraak te kunnen doen over de kwaliteit van de aansluitingscoördinaten moesten de GPS-vectoren tenminste de relatieve nauwkeurigheid van de eerste-ordepunten evenaren. De nauwkeurigheid van het bestaande eerste-ordenet is geschat aan de hand van een hervereffening van blok I van dit net (zie ook Molnar, 1984). Hieruit blijkt dat de beste relatieve precisie tussen naast elkaar gelegen eerste-ordepunten niet beter is dan 4 à 5 cm. Deze nauwkeurigheid, maar dan wel over 100 km, werd met GPS-metingen bereikt in 3 à 4 uur.

De verbinding van de NEREF-punten met de omliggende eerste-ordepunten werd als resultaat van dit onderzoek gemeten met Trimble 4000SSE-ontvangers met gebruikmaking van de P-code in sessies van drie uur met een registratie interval van 15 s. Om voldoende betrouwbaarheid te verkrijgen werd op elk punt tenminste tweemaal opgesteld met herhaling van de centrering van de antenne boven het te meten punt.

6.1.3 Metingen

Een aantal NEREF-punten was in het verleden reeds met omliggende eerste-ordepunten verbonden, veelal met elektronische afstandsmeters. Voor de punten die nog niet op deze wijze waren ingemeten werden GPS-basislijnen gemeten volgens de in 6.1.2 genoemde specificaties. Nu volgt een overzicht van wijze waarop de verschillende NEREF-punten met het eerste-orde-RD-net werden verbonden.

NEREF-puntnummer	RD-puntnummer	Bijzonderheden verbinding met eerste-orde-RD-net	RD-deelnet
11	179811	Was al aan eerste-orde-net verbonden met klassieke metingen	870108
19	339334	Was al aan eerste-orde-net verbonden met klassieke metingen	850305
201	020308	Verbinding met klassieke metingen	931104
202	059306	Verbinding met klassieke metingen	931103
203	099803	Was al een eerste-ordehoofdpunt	
204	150203	Verbinding met GPS	940508
205	289101	Was al een eerste-ordehoofdpunt	
206	240318	Verbinding met GPS	940507
207	370351	Was al aan eerste-orde-net verbonden met klassieke metingen De gepubliceerde coördinaten zijn niet het resultaat van de betreffende berekening. De correcties van respectievelijk 0,95 cm in X en 2,05 cm in Y zijn in de gepubliceerde coördinaten niet toegepast	820202
208	429304	Verbinding met GPS	940509
209	500324	Verbinding met GPS	940510
210		Oostende, geen RD-punt, niet in RD bepaald	
211	559311	Verbinding met GPS	940511
212		Uccle, geen RD-punt, niet in RD bepaald	
213	610324	Verbinding met GPS	940512

Tabel 8. Aansluiting NEREF aan het eerste-orde-RD-net; met de term klassieke metingen worden hier richtings- en afstandsmeting bedoeld.

6.1.4 Resultaten

De resultaten, samengevat in de onderstaande tabel, geven aan dat de verschillen tussen de oorspronkelijke bepaling ten opzichte van de omliggende RD-punten en de aansluiting aan eerste-ordepunten slechts kleine verschillen vertonen. Alleen het x-verschil in Eijsden van -68 mm en het y-verschil in IJmuiden van -76 mm wijzen op enige spanning in het RD-net ter plaatse.

Station	RD-codering	x	y
Schiermonnikoog	020308 13 1991	-0,0002	0,0001
Terschelling	059306 11 1991	0,0015	0,0017
Huisduinen	099803 15 1991	0,0	0,0
Oudemirdumerklif	150203 11 1991	-0,0278	0,0272
Westerbork	179811 22 1991	0,0	0,0
Lemelerberg	289101 14 1990	0,0	0,0
IJmuiden	240318 61 1991	0,0027	-0,0758
Kootwijk	339334 24 1991	0,0	0,0
Delft	370351 18 1989	0,0095	-0,0205
Roompot	429304 11 1991	-0,0029	-0,0284
Lage Mierde	500324 13 1991	0,0304	-0,0028
Clinge	559311 12 1991	0,0208	-0,0229
Eijsden	610324 12 1991	-0,0684	-0,0173

Tabel 9. Verschillen tussen de resultaten van de aansluiting aan eerste-orde-RD-punten en de oorspronkelijke lokale bepaling.

6.2 Aansluiting aan NAP

Onderstaande tabel geeft de NEREF-punten weer waaraan de hoogte aan NAP-merken is gekoppeld. Voor de meeste punten is aangesloten op een zogenaamd Ondergronds Merk (OM), op enkele locaties is echter, gezien de aantoonbare stabiliteit en de lengte van de benodigde waterpassing, volstaan met aansluiting aan normale peilmerken.

Station	omschrijving	aansluiting aan NAP	hoogteverschil (1994) NEREF-punt - NAP-merk
Westerbork	EUREF GPS-punt	ondergronds merk 0A2628	18,9082
Kootwijk		peilmerk 33A0072	-
Huisduinen	EUREF GPS-punt	ondergronds merk 0A4036	3,6019
Delft	EUREF GPS-punt	peilmerk 37E0282	30,5108
Schiermonnikoog	NEREF GPS-punt	ondergronds merk 0A2594	7,4615
Terschelling	NEREF GPS-punt	ondergronds merk 0A4038	-3,9178
Oudemirdumerklif	NEREF GPS-punt	ondergronds merk 0A1011	2,6533
Lemelerberg	NEREF GPS-punt	peilmerk 28A0221	67,6438
Ijmuiden	NEREF GPS-punt	ondergronds merk 0A4049	0,2047
Roompot-Buiten	NEREF GPS-punt	ondergronds merk 0A4086	0,4090
Lage Mierde	NEREF GPS-punt	ondergronds merk 0A2250	0,5820
Clinge	NEREF GPS-punt	ondergronds merk 0A1164	-1,3953
Eijsden	NEREF GPS-punt	ondergronds merk 0A1182	-21,5830
Delfzijl	MAREO GPS-spijker	ondergronds merk 0A4041	3,7334
Eemshaven	MAREO GPS-spijker	ondergronds merk 0A4042	0,3191
Petten	OM NAP	ondergronds merk 0A4066	(Petten is OM)
Scheveningen	MAREO GPS-spijker	ondergronds merk 0A4022	0,1928
Hoek van Holland	NEREF94 GPS-punt	ondergronds merk 0A4021	-0,5037
Vlissingen	MAREO GPS-spijker	ondergronds merk 0A4068	0,8813

Tabel 10. Aansluiting NEREF aan NAP.

6.3 Resultaten aansluiting aan RD en NAP

Station	RD-codering	X_{RD}	Y_{RD}	H_{NAP}
Schiermonnikoog	020308 13 1991	206462,0826	610400,4071	+ 9,9079
Terschelling	059306 11 1991	143892,3856	597510,3852	+ 2,8203
Terschelling (MAREO)	059306 41 1991			+ 3,0105
Huisduinen	099803 15 1991	111058,2817	551716,7763	+ 9,8760
Oudemirdumerklif	150203 11 1991	165118,0576	538725,8985	+ 7,7732
Westerbork	179811 22 1991	236239,7339	548334,2187	+ 34,2896
Lemelerberg	289101 14 1990	224322,6825	498847,5504	+ 78,3532
Ijmuiden	240318 61 1991	98520,5688	497428,2594	+ 4,6967
Ijmuiden (MAREO)	240318 61 1991	98520,5688	497428,2594	+ 4,7000
Kootwijk	339334 24 1991	183928,8813	465682,9667	+ 47,5742
Kootwijk (MAREO)	339334 24 1989	183928,8765	465682,9609	+ 47,570
Delft	370351 18 1989	86346,7939	444659,9514	+ 30,759
Roompot	429304 11 1991	37154,8718	404627,3059	+ 5,6602
Roompot (MAREO)				+ 6,6648
Lage Mierde	500324 13 1991	139244,0851	380082,9288	+ 24,6923
Clinge	559311 12 1991	66697,9616	366320,5125	+ 0,8438
Eijsden	610324 12 1991	179300,4011	310302,9138	+ 65,0631
Delfzijl (MAREO)				+ 8,1182
Eemshaven (MAREO)				+ 4,2808
Harlingen (MAREO)				+ 6,4231
Hoek v. Holland (MAREO)				+ 3,7735
Petten (MAREO)				+ 6,5841
Scheveningen (MAREO)				+ 6,6976
Vlissingen (MAREO)				+ 5,5944

Tabel 11. Resultaten van de aansluiting van NEREF aan RD en NAP.

7. Transformatieparameters uit NEREF91

Het resultaat van het NEREF91-project was een net van nauwkeurige GPS-basislijnen over Nederland. Deze basislijnen worden gevormd door coördinaatverschillen in het WGS84-stelsel. Deze coördinaatverschillen ontstaan als afgeleiden van de satellietposities die via de uitgezonden (broadcast) baangegevens op elk tijdstip van meting worden berekend. De absolute ligging van het net in het WGS84-stelsel ligt vast als van tenminste één punt van het net de coördinaten in het WGS84-stelsel bekend zijn. Van het punt 339334 Satellietstation Kootwijk waren absolute coördinaten bekend op submeterniveau. Deze coördinaten werden gepubliceerd in o.a. (Husti, 1991). Deze coördinaten, afkomstig van SLR (Satellite Laser Ranging), zijn voor de transformatieberekening gebruikt.

RD/NAP		WGS84			
X	183928,876	φ	52° 10' 2,7004"	X	3899209,127
Y	465682,962	λ	5° 48' 36,5459"	Y	396765,221
H	47,582	h	90,882	Z	5015080,615

Tabel 12. Coördinaten van Kootwijk (RD-punt 339334-24-1991).

De berekening van de WGS84-coördinaten van de overige punten van het NEREF-net, gebeurde met het HANNA-programma door een vrije netvereffening (eerste fase) uit te voeren in het WGS84-stelsel met bovenstaande coördinaten van Kootwijk vastgehouden.

Van alle NEREF-punten in Nederland waren ook RD-coördinaten en NAP-hoogte bekend. Hieruit kon een set gelijkvormigheidsparementers worden afgeleid.

De berekeningen werden uitgevoerd met het programma SCARLET (zie Schut, 1991) dat een overbepaalde ruimtelijke gelijkvormigheidstransformatie kan uitvoeren; uitgaand van de diagonaalmatrix als kansmodel. SCARLET rekent uitsluitend met geocentrische coördinaten (X,Y,Z), daarom werden de RD/NAP-coördinaten hiernaar omgezet.

7.1 Transformatie met geöide

Het omzetten van RD-coördinaten naar ellipsoïdische coördinaten vereist kennis van het geöidemodel, $h_{ell} = H_{NAP} + N$, met N = geöidehoogte. Hiervoor werd gebruik gemaakt van het geöidemodel van Van Willigen (zie Willigen, 1985). De ellipsoïdische coördinaten werden omgezet in geocentrische. De gelijkvormigheidstransformatie werd vervolgens berekend tussen de geocentrische coördinaten verkregen uit RD- en NAP-coördinaten en de geocentrische coördinaten in WGS84, verkregen uit de eerstefasenetvereffening aangesloten aan Kootwijk. De toetsingsresultaten uit het SCARLET-programma zijn:

Onbetrouwbaarheidsdrempel alfa-nul	0,0010
Onbetrouwbaarheidsdrempel alfa	0,1777
Onderscheidingsvermogen bèta	0,8000
Standaardafwijking coördinaten	5 cm
Kritieke waarneming F-toets	1,226
Kritieke waarde w-toets	3,291
Aantal punten	13
Aantal vrijheidsgraden	32
F-toets waarde	1,043 (geaccepteerd)

Tabel 13. Toetsingsresultaten overbepaalde gelijkvormigheidstransformatie met geoidemodel Van Willigen.

De standaardafwijking van 5 cm werd dus door de statistische toets geaccepteerd. De uitkomst van deze toetsing is een goede illustratie van de onverwacht hoge kwaliteit van het bestaande RD- en NAP-stelsel. Dit blijkt ook uit de volgende restverschillen.

RD-puntnummer	dX (m)	dY (m)	dZ (m)
020308 13 1991	0,020	0,010	0,007
059306 11 1991	0,061	-0,098	-0,108
099803 15 1991	-0,011	-0,020	-0,083
150203 11 1991	0,004	-0,027	-0,041
179811 22 1991	0,094	0,090	0,020
240318 61 1991	-0,100	-0,014	-0,005
289101 14 1991	0,006	0,078	-0,014
339334 24 1991	0,019	0,044	0,035
370351 18 1989	0,034	-0,021	0,094
429304 11 1991	0,005	-0,168	0,089
500324 13 1991	-0,043	0,061	-0,011
559311 12 1991	-0,011	-0,077	0,011
610324 12 1991	-0,123	0,145	-0,005

Tabel 14. Restverschillen in geocentrische coördinaten na transformatie met gebruikmaking van het geoidemodel Van Willigen.

De berekende transformatieparameters staan in (Schut, 1991), maar worden hier verder niet vermeld omdat ze zijn gebaseerd op de inmiddels verouderde geöide

7.2 Transformatie zonder gebruik van een geöide

Een geöidemodel van Van Willigen is niet alleen een model voor de ondulaties van de geöide, maar legt ook de ligging van het modeloppervlak, de (Bessel) ellipsoïde, vast ten opzichte van het NAP-oppervlak (aangenomen geöide). We zien in het Van Willigen-model een helling van de geöide van ongeveer 1,5 m van zuidwest naar noordoost Nederland. Het is echter bij de oorspronkelijke berekeningen van het net van de Rijksdriehoeksmeting de bedoeling geweest om de ellipsoïde zo goed mogelijk te laten aansluiten bij het NAP-vlak. Door nu een transformatieberekening uit te voeren waarbij de geöidehoogten verwaarloosd worden, wordt impliciet een ellipsoïde aangenomen die zo goed mogelijk aan sluit bij de dertien gebruikte NEREF-punten. Omdat de NEREF-punten niet allemaal op dezelfde hoogte liggen is het duidelijk dat er bij deze transformatieberekening meer tegenspraak zal optreden en de toetsingsresultaten dus slechter zullen zijn.

Alfa-nul	0,0010
Alfa	0,1777
Onbetrouwbaarheidsdrempel bèta	0,8000
Standaard afwijking coördinaten	5 cm
Kritieke waarneming F-toets	1,226
Kritieke waarde w-toets	3,291
Aantal punten	13
Aantal vrijheidsgraden	32
F-toets waarde	6,794 verworpen

Tabel 15. Toetsingsresultaten overbepaalde gelijkvormigheidstransformatie zonder geoidemodell.

Er treden bij zes punten verwerpingen op bij de hoogten (X- en Z-componenten in de geocentrische coördinaten). Ook de restverschillen zijn nu groter, zie de volgende tabel.

RD-puntnummer	dX (m)	dY (m)	dZ (m)
020308 13 1991	0,191	0,035	0,228
059306 11 1991	-0,120	-0,105	-0,350
099803 15 1991	-0,148	-0,027	-0,257
150203 11 1991	-0,028	-0,027	-0,082
179811 22 1991	0,238	0,106	0,205
240318 61 1991	-0,127	-0,014	-0,034
289101 14 1991	-0,071	0,068	-0,114
339334 24 1991	-0,019	0,041	-0,012
370351 18 1989	0,082	-0,017	0,157
429304 11 1991	-0,020	-0,174	0,051
500324 13 1991	0,239	0,090	0,344
559311 12 1991	0,134	-0,065	0,182
610324 12 1991	-0,403	0,131	-0,343

Tabel 16. Restverschillen in geocentrische coördinaten na transformatie zonder gebruikmaking van het geoidemodell Van Willigen.

	Van Willigengeoïde	zonder geoïde	standaardafwijking
T _x (m)	577,57	565,04	0,02
T _y (m)	14,45	49,91	0,02
T _z (m)	458,65	465,84	0,02
s (ppm)	4,0775	4,0772	0,18
R _x (sec)	1,3044	0,4094	0,06
R _y (sec)	0,1033	-0,3597	0,05
R _z (sec)	1,1445	1,8685	0,05

Tabel 17. Transformatieparameters van RD/NAP naar WGS84.

De transformatieparameters moeten worden toegepast volgens:

$$(X)_{WGS84} = (T)_{RD \Rightarrow WGS84} + S_{RD \Rightarrow WGS84} \cdot (R)_{RD \Rightarrow WGS84} \cdot (X)_{RD}$$

waarbij

(X) = kolomvector met geocentrische coördinaten

(T) = kolomvector met translaties

$$S_{RD \Rightarrow WGS84} = 1 + S$$

$$(R) = \text{rotatiematrix} \begin{vmatrix} 1 & g & -b \\ -g & 1 & a \\ b & -a & 1 \end{vmatrix}$$

waarin a, b en g de rotatieparameters RX, RY en RZ zijn, omgerekend naar radialen.

De rotatieparameters zijn dusdanig gering, dat voor de transformatie in omgekeerde richting, van WGS84 naar RD/NAP, de tekens van de coëfficiënten eenvoudig mogen worden omgedraaid.

De verschillen tussen het NEREF-netwerk en de bestaande RD/NAP-coördinaten van de punten werden ook beoordeeld aan de hand van een tweedefase-aansluiting van het NEREF-netwerk aan RD/NAP. De standaardafwijking van de aansluitingscoördinaten werd hierbij op 5 cm gesteld. Het geoidemodel van Van Willigen werd toegepast. De toetsing werd geaccepteerd en de restverschillen zijn niet groter dan respectievelijk 12,4 cm in x-RD richting en 8,5 cm in H-NAP.

De hier gepresenteerde parameters zijn, gebaseerd op de 13 NEREF-punten verspreid over Nederland, geldig voor het gehele Nederlandse grondgebied. De verschillen die optreden tussen (lokaal) aan RD en NAP aangesloten GPS-netten en met de hier gegeven transformatieparameters naar RD/NAP getransformeerde netten, komen voornamelijk voort uit lokale afwijkingen van het RD/NAP-net. Een eerste beeld van deze verschillen is te vinden in (National Report, 1996).

Inmiddels is door De Min (zie Min, 1996) een nieuwe geoïde voor Nederland berekend, uitgaande van de hiervoor aangegeven transformatie "zonder geoïde". Dit betekent dat in deze geoïde de trend van 1,5 m van de Van Willigengeoïde is verdwenen. Belangrijk is dat bij elke geoïde een bepaalde set transformatieparameters hoort. Het verwisselen van transformatieparameters en geoidemodellen kan grote afwijkingen in de resultaten veroorzaken.

8. Geïntegreerde berekening van alle NEREF-campagnes

In de geïntegreerde berekening zijn alle metingen uit de drie NEREF-campagnes gecombineerd tot één oplossing. Hierbij is aangesloten op de ETRS89-realisatie van de EUREF-D/NL93-campagne.

8.1 Beschikbare basislijnen uit de NEREF-campagnes

De beste resultaten van NEREF/MAREO90 zijn afkomstig van de TU Delft (Mulder, 1993). Het betreft een set van 68 basislijnen die berekend is met de Bernse GPS-software. In een vrije netwerkvereffening met SCAN-3 heeft de TU Delft een vijftal basislijnen verworpen. Het resultaat is een set van 63 basislijnen van zeer goede kwaliteit. Voor meer details over de NEREF/MAREO90-campagne wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

Van de NEREF91-campagne is het beste resultaat een door de Rijksdriehoeksmeting met TRIMVEC-software berekende triple-difference-oplossing. Oorspronkelijk bestond de set uit 147 basislijnen, maar in de netwerkvereffening met HANNA werd er één verworpen zodat er een set resteerde van 146 basislijnen. Vanwege de triple-differenceberekening is de kwaliteit van de basislijnen duidelijk minder dan die van de andere twee NEREF-campagnes.

De TU Delft heeft in een vrije netwerkvereffening met SCAN-3 het kansmodel aangescherpt en twee basislijnen extra verworpen, zodat er 144 overblijven. Voor meer details over de NEREF91-campagne wordt verwezen naar hoofdstuk 4.

De laatste campagne, NEREF94, is geheel verwerkt door de Meetkundige Dienst. De basislijnberekening is uitgevoerd met de Bernse GPS-software. De netwerkvereffening met SCAN-3. De verwerpingen uit SCAN-3 zijn daarbij teruggekoppeld naar de basislijnberekening, zodat de 61 basislijnen uit de laatste berekeningslag met de Bernse GPS-software geen verwerpingen in SCAN-3 opleveren. De kwaliteit is evenals die van de basislijnen uit de NEREF/MAREO90-campagne zeer goed. Voor meer details over de NEREF94-campagne wordt verwezen naar hoofdstuk 5.

<i>Campagne</i>	<i>aantal stations (excl. fouten)</i>	<i>aantal basislij- nen (excl. fouten)</i>	<i>GPS-software</i>	<i>netwerk- vereffening</i>
NEREF-/MAREO90	16	63	Bernse GPS-software	SCAN-3
NEREF91	25	144	Trimvec	HANNA en SCAN-3
NEREF94	22	61	Bernse GPS-software	SCAN-3

Tabel 18. Overzicht NEREF-campagnes.

<i>Station</i>	<i>omschrijving</i>	<i>excentriciteiten</i>	<i>bron</i>
Pilsum (D)	EUREF GPS-punt	0	
Onsala	EUREF89 GPS-punt	XYZ: -6,793 +11,932 +3,719	TU Delft
	10402M004 ONSA	0	
Wetzell	10402S002 7213	XYZ: +52,631 -40,464 -43,865	site form
	14201S004 8834	0	
Brussel	14201M009 WETT	XYZ: +38,697 +117,417 -59,322	site form
	13101M004 BRUS	0	
Westerbork	EUREF GPS-punt	XYZ: -65,300 -31,518 +65,056	TU Delft
	EUREF GPS-punt	0	
Kootwijk	NEREF94 GPS-punt	XYZ: -35,519 -608,682 +96,594	terr. meting RD
	EUREF89 GPS-punt	XYZ: -28,7662 -3,9532 +25,3959	punt dossier
	EUREF GPS-punt	XYZ: -28,7688 -3,9486 +25,4026	punt dossier
	13504M003 KOSG	XYZ: -12,458 +37,501 +23,025	site form
Terschelling	13504M002 8833	0	
	MAREO GPS-spijker	0	
	NEREF GPS-punt	horizontaal: onbekend verticaal (h): -0,1902	NAP
Ijmuiden	MAREO GPS-spijker	0	
	NEREF GPS-punt	horizontaal: 0,000 verticaal (h): -0,0256	punt dossier
Roompot-Buiten	MAREO GPS-spijker	0	
	NEREF GPS-punt	horizontaal: onbekend verticaal (h): -1,0086	NAP
Clinge	NEREF GPS-punt	0	
	hersteld 930804	horizontaal: 0,000 verticaal (h): -0,0219	punt dossier
Eemshaven	MAREO GPS-spijker	0	
Hoek van Holland	NEREF94 GPS-punt	onbekend	
	MAREO GPS-spijker	0	
	NEREF94 GPS-punt	onbekend	

Tabel 19. Overzicht excentriciteiten.

8.2 Aansluitingsgegevens ETRS89 en ITRS

Voor de aansluiting op ETRS89 zijn twee realisaties beschikbaar. Ten eerste de resultaten van de oorspronkelijke EUREF89-campagne. Ten tweede de resultaten van de EUREF-D/NL93-campagne waarin Nederland en Duitsland in hun gebied een verbetering en uitbreiding van EUREF89 hebben gerealiseerd. Daarnaast zijn nog ITRS-coördinaten beschikbaar.

	<i>aantal stations</i>	<i>kansmodel</i>
EUREF89	9	kunstmatrix TU Delft
EUREF-D/NL93	9	volledige covariantiematrix
ITRF94	4	diagonaalmatrix

Tabel 20. Overzicht aansluitingsgegevens.

De EUREF89-coördinaten van Pilsum en Uccle zijn al op voorhand verwijderd. Deze coördinaten zijn al bij een eerder door de TU Delft uitgevoerde geïntegreerde berekening (met NEREF/MAREO90 en NEREF91) als foutief aangemerkt.

8.3 Aanpak en uitvoering geïntegreerde berekening

In totaal bestaan de NEREF-campagnes en de aansluitingsgegevens uit zes waarnemingssets. Hiervan is NEREF91 kwalitatief duidelijk minder goed. Het combineren van de sets is daarom in drie stappen uitgevoerd:

- A. Combinatie van de kwalitatief beter berekende NEREF-campagnes (NEREF/MAREO90 en NEREF94).
- B. Toevoegen van de ETRS89- en ITRS-aansluitingsgegevens (EUREF-D/NL93, EUREF89 en ITRF94)
- C. Toevoegen van de NEREF91-campagne.

In de eerste twee stappen werden alleen fouten door puntidentificaties, excentriciteiten en deformatie (zakking) verwacht. Na uitsluiting van eventueel gevonden fouten werd aldus een solide basis gevormd, waarmee het in de derde stap optimaal mogelijk was om eventuele fouten in NEREF91 te ontdekken.

	<i>Aangewezen fout</i>	<i>grootste toets- quotiënt</i>	<i>quotiënt globale toets</i>	<i>uitgevoerde actie</i>
<i>(A) NEREF/MAREO90 en NEREF94</i>				
1.	excentriciteit Kootwijk_8833 - Kootwijk_90	2,02	1,42	exc. verwijderd
2.	basislijn Huisduinen - Petten (90)	1,76	1,35	nieuw punt Petten_90 (dop OM niet verwijderd)
3.	excentriciteit Roompot	1,74	1,14	exc. verwijderd
4.	basislijn Pilsum - Westerbork (90)	1,25	1,07	kansmodel opgeschaald met factor 1,05
5.	basislijn Pilsum - Westerbork (90)	1,19	1,02	geen
<i>(B) A + EUREF-D/NL93, EUREF89 en ITRF94</i>				
1.	excentriciteit Pilsum	2,09	1,13	exc. verwijderd
2.	basislijn Delft - Huisduinen (94)	1,17	1,05	geen
<i>(C) A + B + NEREF91 (alle sets)</i>				
1.	excentriciteit Uccle - BRUS	1,91	1,27	kansmodel NEREF91 opgeschaald (factor 1,5)
2.	excentriciteit Westerbork	1,40	1,01	geen

Tabel 21. Rekenstappen.

Een volledig overzicht van alle beschikbare, gebruikte en verwijderde waarnemingen is beschikbaar op CD-ROM; zie bijlage 2 voor de inhoud hiervan.

De resultaten zijn uitgedrukt in de ETRS89-realisatie van EUREF-D/NL93. De aansluitingsberekening is met SCAN3 volgens de kleinstekwadratenmethode uitgevoerd, zodat tevens correcties zijn berekend op de EUREF-D/NL93-coördinaten. Ter versterking van het netwerk en de aansluiting zijn EUREF89 en ITRF94 meegenomen in de berekening. ITRF94 is vooral van belang om goed aan te kunnen sluiten op het in NEREF94 meegenomen IGS-station Brussel.

8.4 Resultaten

De resultaten bestaan uit een lijst ETRS89-coördinaten en een bijbehorende covariantiematrix. Vergeleken met EUREF-D/NL93 hebben de coördinaten van Kootwijk de grootste correcties gekregen (ongeveer 3,6 cm!). De overige correcties zijn beduidend

kleiner. Hieronder volgt een opsomming van de berekende coördinaten met de bijbehorende standaardafwijkingen.

Station	omschrijving	x	y	z	h	σ_x	σ_y	σ_z	σ_h
Naam		[m]	[m]	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Pilsum (D)	EUREF GPS-punt	3774727,110	467534,181	5102794,551	40,682	8,7	5,4	9,4	11,2
	EUREF89 GPS-punt	3774720,331	467546,126	5102798,299	40,564	11,2	10,3	10,8	13,3
Lathen (D)	DREF GPS-punt	3828218,937	491597,759	5060806,478	52,379	18,2	18,9	15,4	19,9
Bentheim (D)	DREF GPS-punt	3878672,803	479374,664	5023704,191	75,391	15,5	17,1	14,2	18,0
Fürstenberg (D)	EUREF GPS-punt	3940576,587	446945,198	4978664,640	111,591	8,1	5,5	9,5	11,0
Gangelt (D)	DREF GPS-punt	4000567,348	424608,208	4932886,327	122,185	13,7	14,5	13,5	16,8
Weisserstein (D)	EUREF GPS-punt	4047845,719	452417,963	4892732,013	725,024	8,2	5,4	10,1	11,7
	?	4047845,759	452417,862	4892732,074	725,090	23,5	24,8	20,3	26,7
Oostende (B)	EUREF GPS-punt	3996529,486	204391,258	4949959,938	49,080	12,3	9,9	13,4	16,4
Onsala	10402M004 ONSA	3370606,210	711917,425	5349830,611	59,253	10,6	8,2	12,3	13,2
	10402S002 7213	3370658,842	711876,961	5349786,746	45,542	10,7	8,2	12,5	13,5
Wetzell	14201S004 8834	4075540,074	931735,171	4801629,252	669,145	9,4	7,9	11,0	12,0
	14201M009 WETT	4075578,771	931852,587	4801569,930	666,072	9,5	7,9	11,2	12,3
Brussel	13101M004 BRUS	4027893,993	307045,600	4919474,892	149,644	8,9	6,4	10,8	12,6
	EUREF GPS-punt	4027828,693	307014,080	4919539,950	157,392	9,4	7,0	11,2	12,9
Westerbork	EUREF GPS-punt	3828684,675	442656,203	5064971,410	75,820	7,6	5,4	8,1	9,3
	NEREF94 GPS-punt	3828720,195	443264,886	5064874,820	62,225	7,4	5,5	7,9	9,1
Kootwijk	EUREF89 GPS-punt	3899209,088	396765,271	5015080,603	90,851	9,1	7,1	9,8	11,7
	EUREF GPS-punt	3899209,088	396765,272	5015080,592	90,843	8,3	6,9	9,0	10,3
	13504M003 KOSG	3899225,398	396731,724	5015078,210	96,829	7,6	5,6	8,5	9,8
	13504M002 8833	3899237,857	396769,223	5015055,188	88,571	8,0	6,4	8,8	10,0
Huisduinen	EUREF GPS-punt	3837956,992	317790,754	5067281,234	51,996	8,5	5,9	9,3	11,1
Delft	EUREF GPS-punt	3924689,294	301145,325	5001908,649	74,253	8,4	6,0	9,6	11,3
Schiermonnikoog	NEREF GPS-punt	3782173,577	408356,504	5102374,506	50,343	8,7	5,7	9,6	11,4
Terschelling	MAREO GPS-spijker	3798560,332	346963,576	5094783,485	44,382	10,7	12,0	10,5	12,4
	NEREF GPS-punt	3798467,986	347048,659	5094845,881	44,192	9,3	6,0	10,3	12,4
Oudemirdumerklif	NEREF GPS-punt	3843282,125	372594,884	5059555,328	49,909	9,0	5,8	10,1	12,1
Lemelerberg	NEREF GPS-punt	3869108,784	434501,886	5035128,839	121,154	8,4	5,6	9,4	11,1
Ijmuiden	MAREO GPS-spijker	3882073,417	309355,273	5034306,074	47,575	9,0	6,1	10,1	12,1
	NEREF GPS-punt	3882073,401	309355,272	5034306,053	47,549	9,0	6,1	10,1	12,1
Roompot-Buiten	MAREO GPS-spijker	3960043,979	254922,826	4976688,408	50,841	11,1	9,4	12,0	14,6
	NEREF GPS-punt	3960178,347	255087,794	4976572,452	49,780	9,7	6,5	11,5	13,8
Lage Mierde	NEREF GPS-punt	3970391,817	358590,896	4962153,410	68,835	9,1	6,0	10,7	12,7
Clinge	NEREF GPS-punt	3987524,534	287340,292	4953075,315	45,345	10,0	6,4	11,9	14,3
	hersteld 930804	3987524,520	287340,291	4953075,298	45,323	10,0	6,4	11,9	14,3
Eijsden	NEREF GPS-punt	4020704,625	403569,321	4918341,992	111,035	9,1	6,1	10,9	12,9
Delfzijl	MAREO GPS-spijker	3789790,495	460746,674	5092316,488	48,627	12,0	14,4	11,5	14,2
	gezakt?	3789790,490	460746,659	5092316,420	48,568	9,3	5,6	10,8	12,9
Eemshaven	MAREO GPS-spijker	3779805,184	452660,752	5100397,061	44,523	11,1	13,1	10,8	13,2
	NEREF94 GPS-punt	3779947,802	452632,725	5100294,610	44,575	8,4	5,6	9,2	10,9
Petten	OM NAP	3854354,594	314038,075	5055132,476	48,935	9,2	6,0	10,4	12,5
	dop niet verwijderd	3854354,651	314038,081	5055132,542	49,022	11,5	10,3	11,6	14,4
Scheveningen	MAREO GPS-spijker	3915378,471	291753,110	5009672,943	50,052	9,1	6,2	10,5	12,5
Hoek van Holland	MAREO GPS-spijker	3926747,761	282838,537	5001331,187	47,314	9,5	7,8	10,5	12,6
	NEREF94 GPS-punt	3926771,068	282845,080	5001313,603	48,071	9,9	6,3	11,6	14,0
Vlissingen	MAREO GPS-spijker	3975962,376	249903,789	4964317,616	49,889	9,8	6,6	11,6	13,8
Harlingen	MAREO GPS-spijker	3813999,028	361307,726	5082324,591	47,316	9,9	8,6	10,0	12,2

Tabel 22. Resultaten van de geïntegreerde coördinatenberekening.

8.5 Controle transformatieparameters

Met behulp van de resultaten van de gecombineerde NEREF-berekening zijn de in 1991 gepubliceerde transformatieparameters geverifieerd. Hiervoor zijn de parameters met de eveneens gepubliceerde standaardafwijkingen ingevoerd in SCAN-3. Het resultaat hiervan was dat de parameters licht werden verworpen, hetgeen betekent dat op basis van de gecombineerde NEREF-berekening significant andere transformatieparameters berekend kunnen worden. Door in een vervolgstap alleen de translaties te schatten is aangetoond dat het verschil ongeveer 7 cm bedraagt (bij een standaardafwijking van 1,7 cm). Gezien dit vrij kleine verschil is besloten om geen nieuwe parameters te publiceren en vooralsnog de in 1991 berekende en in de HTW gepubliceerde parameters te handhaven.

9. Literatuur

- Antenna Dimensions, rapport verkrijgbaar op het Internet, <http://igsb.jpl.nasa>.
- Beckers, G.W.J. e.a., GPS-Onderzoek bodemdalingsmetingen Groningen, LGR publicatie, nummer 10, juni 1995.
- Buren, J. van, Antennecalibratie van de 4000SST-antennes 386, 391 en 5422, intern RD-rapport no. 60, 1991.
- Buren, J. van, NEREF (stand van zaken), GPS-nieuwsbrief 1991/2.
- Bericht NEREF'94 GPS-campagne, GPS nieuwsbrief 1994/2.
- Hofman, M. e.a., Actief GPS Referentie Systeem voor Nederland; Pag. 227-230, NGT Geodesia, mei 1995.
- Husti, G.J., Over Bepaling van WGS84 Coördinaten, GPS-Nieuwsbrief, 1991/1.
- Min, Erik de, De geoïde voor Nederland, Nederlandse Commissie voor Geodesie, publicatie 34, 1996.
- Min, Erik J. de, De geoïde voor Nederland, NGT Geodesia 1996 no. 5.
- Molendijk, R.E., e.a., NEREF-MAREO'90, Beschrijving doelstelling NEREF-MAREO en stand van zaken m.b.t. analyse NEREF-MAREO'90 GPS-campagne per mei 1992, mei 1992, interne publicatie Meetkundige Dienst RWS.
- Molendijk, R.E. en J.F. Zomerdijk, NEREF'94 - tussenrapportage verwerking NEREF'94 GPS-campagne, 17 januari 1996.
- Molnar, J.G., Analyse eerste-orde net (blok I), intern RD-rapport no. 30, 1984.
- Mulder, J.E.V., Analysis of the first measurement of the NEREF-MAREO GPS NETWORK 1990 (Draft), 18-03-93.
- National Report of The Netherlands, EUREF symposium, Warsaw, June 8-10, 1994.
- National Report of The Netherlands, EUREF symposium, Helsinki, May 3-6, 1995.
- National Report of The Netherlands, EUREF symposium, Ankara 1996.
- NEREF94, Gegevens GPS-campagne NEREF'94, notitie met de administratieve gegevens over de NEREF'94 GPS-campagne, december 1994.
- Odijk, D., Kwaliteitsanalyse van het GPS-kernnet, afstudeerscriptie Faculteit der Geodesie TUD, augustus 1994.
- Schut, T.G., Transformatieparameters voor RD → WGS84, GPS-nieuwsbrief 1991/2.
- Willigen, G.W. van, De berekening van de gravimetrische geoïde van Nederland, Afstudeerscriptie TUD Geodesie 1985.

Bijlage 1. Inhoud van de puntdossiers

Bij de Nederlandse Commissie voor Geodesie bevinden zich puntdossiers met daarin beeld- en ander materiaal betreffende de NEREF-punten. Bij de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat in Delft en het Kadaster in Apeldoorn bevinden zich kopieën van deze dossiers.

In puntdossiers bevinden zich o.a.:

- gebruikte aanduidingen (zie ook tabel 1 Coderingen van de NEREF-punten);
- resultaten van waterpassingen door de Meetkundige Dienst en de Rijksdriehoeksmeting;
- situatieschets;
- foto's;
- stationsbeschrijving;
- fragmenten van topografische kaarten;
- aanmetingen;
- coördinatenlijst van de Rijksdriehoeksmeting
- peilmerkenlijst van het NAP en
- GPS-verkenningsformulieren.

Bijlage 2. Overzicht van beschikbare data op CD-ROM

De (ruwe) data van de in dit rapport beschreven NEREF-campagnes zijn gearchiveerd op CD-ROM. Een kopie van deze CD-ROM is beschikbaar bij de Nederlandse Commissie voor Geodesie, de Meetkundige Dienst en het Kadaster.

De beschikbare gegevens zijn:

1. Data van de NEREF/MAREO90-campagne (zie hoofdstuk 3):
 - ruwe data (Trimble) GPS-ontvangers, gegroepeerd per bezet stationspunt;
 - waarnemingen in RINEX-formaat, gegroepeerd per dag naar EUREF- en peilmeetstations.
2. Data van de NEREF91-campagne (zie hoofdstuk 4):
 - ruwe data (Trimble) GPS-ontvangers, gegroepeerd per bezet stationspunt;
3. Data van de NEREF94-campagne (zie hoofdstuk 5):
 - ruwe data (Trimble) GPS-ontvangers, gegroepeerd per bezet stationspunt;
 - waarnemingen in RINEX-formaat, gegroepeerd per dag;
 - (IGS) baangegevens
4. Beschikbare campagne-oplossingen en berekeningsresultaten, zoals beschreven in hoofdstuk 8 (par. 8.1 - 8.4).

Bijlage 3. Afkortingen

DREF	Duitse Reference Frame
ED50	European Datum 1950
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
EUREF89	EUropean REference Frame 1989
GPS	Global Positioning System
HTW1996	Handleiding Technische Werkzaamheden 1996 van het Kadaster
IGS	International GPS Geodynamics Service
ITRF89	International Terrestrial Reference System 1989
MAREO	van mareograph: peilschaal
MD	Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat
NAP	Normaal Amsterdams Peil
NCG	Nederlandse Commissie voor Geodesie
NEREF	NEtherlands REference Frame
OM	Ondergronds Merk
RD	Rijksdriehoeksmeting (van het Kadaster)
SLR	Satellite Laser Ranging
TUD	Faculteit der Geodesie van de TU Delft
VLBI	Very Long Baseline Interferometry
WGS	World Geodetic System