



TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT
FACULTEIT DER LUCHTVAART- EN RUIMTEVAARTTECHNIEK

Eindrapportage Voorwaardelijke Financiering
Taakstelling Ge-01/84-38; LR komponent

Memorandum M-590

GEBRUIK VAN SATELLIETBANEN VOOR
GEODETISCH EN GEOFYSISCH ONDERZOEK

K.F. Wakker

1. INLEIDING

In 1983 is door de Faculteit der Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek en de Faculteit der Geodesie een gezamenlijk onderzoekvoorstel voor de Voorwaardelijke Financiering (VF) aan het College van Bestuur van de TU-Delft aangeboden. Dit voorstel had de titel: "Gebruik van Satellietbanen voor Geodetisch en Geofysisch Onderzoek" en betrof onderzoek dat in samenwerking tussen de Sectie Baanmechanica van Ruimtevoertuigen (SBR) van de Vakgroep Ontwerpen, Vliegmechanica, Ruimtevaart (a2) en de Sectie Standregeling van Satellieten van de Vakgroep Stabiliteit en Besturing (a3), beide van de Faculteit der Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek en de Werkeenheid Satellietgeodesie (WSG) van de Vakgroep Mathematische en Fysische Geodesie van de Faculteit der Geodesie zou worden uitgevoerd.

In 1983 werd tevens door de Faculteit der Geodesie een onderzoekvoorstel met de titel "Satellietbaanmetingen voor Geodetisch en Geofysisch Onderzoek" aan het College van Bestuur aangeboden. Bij de uitvoering van dit onderzoek zou alleen de WSG van de Faculteit der Geodesie zijn betrokken.

In overleg tussen het College van Bestuur en de betrokken Faculteiten werd in 1984 besloten de beide inmiddels geaksepteerde voorstellen te combineren en als één VF onderzoekproject te beschouwen. Dit totale onderzoekproject staat binnen de TU-Delft bekend als "Ge-01/84-38, Satellietbanen". De bijdrage van de beide Secties van de Faculteit der Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek aan het project staat bij deze Faculteit bekend als "LR-03, Satellietbanen".

Dit verslag van de inspanningen en resultaten van het onderzoek binnen de taakstelling "Ge-01/84-38" heeft uitsluitend betrekking op het onderzoek dat aan de Faculteit der Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek is uitgevoerd. Omdat het grootste deel van dit onderzoek door de SBR is verricht zal, ter wille van de overzichtelijkheid van de verslaggeving, in het onderstaande de totale bijdrage van de Faculteit der Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek in deze taakstelling als onderzoek van de SBR worden aangeduid. Voor de bijdrage van de WSG aan het totale onderzoekproject wordt verwezen naar een separaat door de Faculteit der Geodesie in te dienen verslag.

PROGRAMMAFORMULIER VOORWAARDELIJKE FINANCIERING

1. Contactadres bij de universiteit

College van Bestuur
Technische Universiteit Delft
Julianalaan 134
Delft

2. Programmaleider

prof.ir. K.F. Wakker (LR komponent van het onderzoek)

3. Code	Korte naam
Ge-01/84-38; LR komponent	Satellietbanen

4. Omvang in fte

	1984	1985	1986	1987	gemiddeld	1988 progn.
WP1 OP	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	-
WP1 WV	3.0	3.8	5.1	5.2	4.3	5.0
WP2 WV	0.4	-	1.0	0.8	0.6	0.8
WP3 WV	1.1	2.3	0.6	1.8	1.4	1.3
Totaal	4.5	6.1	6.7	7.8	6.3	7.1

Aanstelling personeel ten laste van SRON/ZWO is tot WP2 gerekend, aanstelling ten laste van BCRS tot WP3.

5. Titel

Gebruik van satellietbanen voor geodetisch en geofysisch onderzoek

6. Korte toelichting

De taakstelling beoogt het gebruik van satellieten voor onderzoek op de volgende gebieden: geodetisch positioneren van punten op aarde, meten van aardkorstbewegingen, bepalen van de rotatiebeweging van de aarde, modelleren van de op een satelliet werkende krachten, modelleren van het gemiddelde zeeoppervlak en detekteren van zeestromingen.

7. Onderwerpssluiting

- * wetenschapsgebied (ISN): 2501, 2504, 2507, 2510, 3324
- * toepassingsgebied (NABS): 81, 812
- * trefwoorden: satellite orbit mechanics, satellite geodesy, solid-earth physics, crustal dynamics, satellite altimetry, satellite positioning and navigation

8. Beoordeling

- * discipline: } ruimtevaart, satellietgeodesie, satellietdynamica
 - * subdiscipline: }
-

2. HET VAKGEBIED

Het in deze taakstelling uitgevoerde onderzoek bestrijkt een aantal belangrijke onderwerpen uit de hemelmechanica, geodesie en geofysica:

- Het berekenen van de banen van satellieten en het modelleren van de op de satellieten werkende stoorkrachten.
- Het bepalen van de posities van bekende geodetische referentiepunten op aarde en het bepalen van wereldwijde geodetische referentiestelsels.
- Het meten van de beweging van de aardkorst.
- Het bepalen van de rotatiebeweging van de aarde.
- Het modelleren van de dichtheid in de atmosfeer op grote hoogte en van het aardse gravitatieveld.
- Het modelleren van het gemiddelde zeeoppervlak en het detekteren van groot-schalige zeestromingen.

Kenmerkend voor het onderzoek is dat er gebruik wordt gemaakt van metingen naar satellieten en van door satellieten verrichte metingen.

Het uitgangspunt van het onderzoek wordt gevormd door nauwkeurige waarnemingen van de beweging van speciale geodetische en geofysische satellieten ten opzichte van de aarde. Dergelijke waarnemingen kunnen door een wereldwijd netwerk van grondstations die met lasers of radio-frequentie volgsystemen zijn uitgerust worden vergaard, maar kunnen ook door andere satellieten (satellite-satellite tracking) worden geleverd. In het wiskundige model waarmee voor de satelliet een baan wordt berekend, die zo goed mogelijk overeenkomt met alle waarnemingen, kan een aantal modelparameters als te schatten parameters worden behandeld. Dit kunnen bijvoorbeeld de coördinaten van grondstations zijn, of parameters in de modellen voor de aardrotatie, voor de op de satelliet werkende krachten, etc. Hierdoor kan uit de metingen aan de satellietbeweging niet alleen de baan worden gereconstrueerd, maar kan tevens belangrijke geodetische en geofysische informatie worden verkregen. Wanneer de satelliet met een radarhoogtemeter is uitgerust, die de hoogte van de satelliet boven het zeeoppervlak meet, kan tevens de vorm van het gemiddelde zeeoppervlak worden bepaald, waaruit o.a. informatie over grootschalige zeestromingen kan worden verkregen. Behalve de baan is voor een aantal geofysische satellieten ook informatie over de stand van de satelliet nodig om de metingen die de satelliet verricht korrekt te interpreteren.

In het kader van de taakstelling Ge-01/84-38 heeft de SBR onderzoek verricht naar de verwerking van metingen aan de satellietbeweging en van door de satelliet zelf verrichte metingen of uitgezonden signalen tot relevante geodetische en geofysische informatie op de bovengenoemde deelgebieden van de hemelmechanica, geodesie en geofysica. Een belangrijke rol in dit onderzoek speelde de laserafstandmetingen die zijn verricht door de WSG met behulp van een vaste laser te Kootwijk en een mobiele laser, die sinds 1985 in het Middellandse Zeegebied wordt ingezet. Deze samenwerking met de WSG vormde de ruggegraat van het onderzoek van de SBR.

Het onderzoek van de SBR binnen deze taakstelling kan in vier thema's worden onderverdeeld:

1. Geodynamisch onderzoek met behulp van laserafstandmetingen.
2. Geofysisch en oceanografisch onderzoek met behulp van radarhoogtemetingen.
3. Plaatsbepaling en baanberekening met behulp van navigatiesatellieten.
4. Nieuwe concepten van satellieten voor geodetisch en geofysisch onderzoek.

Deze indeling in thema's zal in het onderstaande worden gehanteerd.

3. DOELSTELLING EN RELEVANTIE VAN HET ONDERZOEK

3.1. Geodynamisch onderzoek met behulp van laserafstandmetingen

Een belangrijke ontwikkeling binnen de geodynamica is het onderzoek van de onderlinge beweging en de deformatie van aardchollen, volgens de hypothese van de aardchollen-tektoniek. Het herhaaldelijk, en met extreme precisie, bepalen van de onderlinge posities van geselecteerde punten op aarde vormt een uitgangspunt om de snelheden waarmee de aardchollen zich verplaatsen of zich vervormen vast te stellen. Volgens de hypothese zullen de verplaatsingssnelheden minder dan 20 cm per jaar zijn. Om deze geringe bewegingen te kunnen vaststellen is het noodzakelijk de relatieve posities van punten op aarde met een nauwkeurigheid van beter dan 5 cm te kunnen bepalen. Momenteel wordt voor deze geodetische positiebepaling vooral de techniek van laserafstandmetingen naar speciale geodetische satellieten gebruikt. Voor dit onderzoek is het noodzakelijk op operationele wijze een wereldwijd geodetisch referentiestelsel vast te leggen, dat eveneens onmisbaar is bij onderzoek naar onregelmatigheden in de rotatiebeweging van de aarde.

De doelstelling van de SBR in dit onderzoekthema was het verwerken van laserafstandmetingen naar de geodetische satellieten LAGEOS en STARLETTE, die door een wereldwijd netwerk van grondstations waren vergaard, waardoor de baan van de satelliet, de positie van de laserstations, de rotatiebeweging van de aarde, en een aantal interessante parameters in de modellen voor de krachten die op de satelliet werken, kunnen worden bepaald. Deze resultaten worden tesamen gebruikt om bewegingen van de aardkorst en de rotatiebeweging van de aarde te bestuderen.

Het zal duidelijk zijn dat wanneer de geringe bewegingen van de aardkorst nauwkeurig kunnen worden bepaald deze informatie uiterst belangrijk is voor het opstellen van modellen voor het bestuderen van aardbevingsmechanismen. De precieze meting van de rotatiebeweging van de aarde is van groot belang voor de bestudering van atmosferische en oceanische interacties met de vaste aarde en van de invloed van massaverplaatsingen door aardbevingen op de aardrotatie.

3.2. Geofysisch en oceanografisch onderzoek met behulp van radarhoogtemetingen

Wanneer de baan van een met een radarhoogtemeter uitgeruste satelliet voldoende nauwkeurig kan worden berekend uit waarnemingen die door volgsystemen zijn verricht, dan kunnen de hoogtemetingen worden gebruikt om een drie-dimensionaal model van het gemiddelde zeeoppervlak over een zeker tijdsinterval te bepalen. Uit de veranderingen die dit oppervlak als functie van de tijd ondergaat kunnen zogenaamde mesoscale stromingspatronen in de oceanen worden gedetecteerd. Door de informatie over het gemiddelde zeeoppervlak te combineren met informatie over het zwaartekrachtsveld boven zee kunnen ook de grootschalige semi-permanente stromingen in kaart worden gebracht. Tevens kunnen de hoogtemetingen worden gebruikt bij de baanberekening van de satelliet en voor het bepalen van de structuur van het zwaartekrachtsveld boven zee. Hieruit kan dan weer de topografie van de zeebodem worden bepaald en daarmee de aanwezigheid van onderzeese bergen en scheuren in de zeebodem in kaart worden gebracht.

De doelstelling van het onderzoek van de SBR onder dit thema was het nauwkeurig berekenen van de baan van de SEASAT satelliet, het verwerken van de radarhoogtemetingen die deze satelliet heeft geproduceerd, het modelleren van het gemiddelde zeeoppervlak, het in kaart brengen van zeestromingen en van de zeebodempopografie, en het gebruiken van de hoogtemetingen voor het modelleren

van het aardse gravitatieveld. Deze activiteiten werden gezien als een voorbereiding op de deelname in onderzoekprojecten in het kader van toekomstige satellietmissies.

Een meer gedetailleerde kennis van de grootschalige stromingspatronen in de oceanen, en de veranderingen die in deze patronen optreden, is van essentieel belang voor een beter begrip van de processen die het weer op lange termijn en eventuele klimaatveranderingen beïnvloeden.

3.3. Plaatsbepaling en baanberekening met behulp van navigatiesatellieten

Een nadeel van de lasermeetsystemen voor de plaatsbepaling van punten op aarde is dat de systemen duur en kwetsbaar zijn en dat, ten gevolge van het beperkt aantal geschikte satellieten en de afhankelijkheid van de meettechniek van goede weerkondities, een lasersysteem vrij lang op een lokatie moet staan alvorens voldoende metingen zijn verzameld, waarmee de positie van de laser met de vereiste hoge nauwkeurigheid kan worden berekend. Om deze reden wordt de toepassing van alternatieve satellietsystemen bestudeerd, die radiosignalen uitzenden waarmee een gebruiker snel zijn positie met geodetische precisie kan bepalen. Dezelfde satellietsystemen kunnen ook worden gebruikt om de snelheid van een bewegende gebruiker nauwkeurig te meten. Een nadeel van dit meetconcept is dat het voorlopig voor absolute plaatsbepaling en voor relatieve plaatsbepaling over grote afstanden nog niet de nauwkeurigheid levert die bij het gebruik van de lasersystemen wordt bereikt.

De doelstelling van het onderzoek van de SBR onder dit thema was kennis te verwerven van het Amerikaanse GPS/NAVSTAR satelliet-navigatiesysteem, dat momenteel in ontwikkeling is, en ervaring op te doen met het verwerken van de door dit systeem geleverde signalen voor het met geodetische precisie positioneren van punten op aarde. Voor wat dit laatste aspect betreft is het onderzoek vergelijkbaar met het in paragraaf 3.1 genoemde onderzoek, zij het dan dat er een ander type metingen wordt gebruikt. Een tweede doelstelling van het onderzoek in dit thema was het deelnemen aan voorbereidende studies, die in Europees verband plaatsvinden en betrekking hebben op een mogelijk toekomstig satelliet-navigatiesysteem NAVSAT.

Dergelijke satellieten die gekodeerde radiosignalen uitzenden zullen in de toekomst een zeer belangrijke rol gaan spelen bij het nauwkeurig bepalen van de posities van punten op aarde en van de baan van andere satellieten. Voor de toekomstige activiteiten van de SBR werd het van essentieel belang geacht vanaf het begin bij dergelijke nieuwe ontwikkelingen betrokken te zijn.

3.4. Nieuwe concepten van satellieten voor geodetisch en geofysisch onderzoek

In Europees verband wordt sinds het begin van de jaren 80 een aantal concepten voor toekomstige geodetische en geofysische satellieten bestudeerd. Hiertoe behoren het POPSAT concept, dat betrekking heeft op een satelliet ten behoeve van onderzoek op het gebied van de geodynamica en de aardrotatie, het SEM/GRADIO concept voor het modelleren van het aardse gravitatieveld en het MAGNOLIA concept voor het modelleren van het aardse magnetische veld.

Gezien het feit dat deze satellietmissies betrekking hebben op het onderzoeksterrein van de SBR, werd besloten aan voorstudies voor deze missies mee te werken. Op deze wijze zou de SBR vanaf het begin bij deze potentieel zeer belangrijke missies betrokken zijn, en de noodzakelijke kennis kunnen verwerven, waarmee na de lancering van de satelliet de door die satelliet geleverde metingen optimaal zullen kunnen worden verwerkt in het onderzoeksprogramma van

de SBR. In deze voorstudies zou vooral aandacht worden besteed aan het selekteren van de optimale baan van de satelliet, het selekteren van een optimaal netwerk van volgstations en simulatieberekeningen waarmee de nauwkeurigheid van de door de missie te leveren geofysische informatie kan worden geschat.

In de POPSAT en SEM/GRADIO concepten is het van essentieel belang de stand van de satelliet te kennen en deze stand nauwkeurig te kunnen regelen. Een deel van het onderzoek in dit thema had daarom betrekking op het ontwerp van een geschikt standregelsysteem voor POPSAT en op een analyse van de problemen die zich bij de standregeling van SEM/GRADIO kunnen voordoen. Een andere doelstelling was het ontwikkelen van een mathematisch model, waarmee de rotatiebeweging van niet-starre satellieten uit metingen kan worden gerekonstrueerd.

4. KONTRAKTONDERZOEK EN SUBSIDIES

In het kader van het VF onderzoek voor de hier beschreven taakstelling heeft de SBR verschillende kontraktstudies uitgevoerd en aanvullende subsidies ontvangen van de Stichting Ruimteonderzoek Nederland (SRON) en de Beleidscommissie Remote Sensing (BCRS). De filosofie bij het verwerven van kontraktstudies was als volgt. Ten eerste moest de studie voldoen aan de voorwaarde dat het onderwerp volledig paste binnen de VF taakstelling. Ten tweede moest de studie een wetenschappelijk karakter hebben en kunnen leiden tot een uitbreiding van de kennis en ervaring van de SBR. De extra financiële middelen, die op deze wijze werden verworven, werden geheel ten bate van het totale onderzoek binnen de VF taakstelling aangewend en voornamelijk gebruikt voor het aanstellen van tijdelijk personeel en voor de aanschaf van computer apparatuur.

Van SRON werd jaarlijks een subsidie ontvangen voor reiskosten in het kader van het onderzoekthema "Geodynamisch onderzoek met behulp van laserafstandmetingen". Tevens werd sinds 1986 van SRON subsidie ontvangen voor de aanstelling van een onderzoeker ten behoeve van het onderzoekthema "Geofysisch en oceanografisch onderzoek met behulp van radarhoogtemetingen". In 1984 werd van de Directie Wetenschapsbeleid (WB) van het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen een subsidie voor dit onderzoek ontvangen en vanaf augustus 1986 werd voor dit onderzoekthema door BCRS een subsidie gegeven voor de aanstelling van twee onderzoekers.

Binnen de Faculteit der Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek zijn het kontraktonderzoek en het gesubsidiëerde onderzoek altijd als integraal bestanddeel van de betreffende VF taakstelling gezien, waardoor de werkelijke inspanning voor de taakstelling aanzienlijk groter kon zijn dan de door de Faculteit oorspronkelijk gegarandeerde inspanning.

In de onderstaande Tabel wordt een beknopt overzicht gegeven van het uitgevoerde kontraktonderzoek en de ontvangen subsidies.

Omschrijving	Opdrachtgever/ subsidiegever	Periode	Inkomsten (kfl)
Bijwonen NASA CDP meetings	SRON/ZWO	1980-..	56*)
NAVSAT ground segment	NLR/ESA	1983-86	76
POPSAT-ERS SST tracking	Dornier/ESA	1984	46
NAVSAT system evaluation	NLR/ESA	1984	10
Radarhoogtemeter analyse	O&W/WB	1984-85	35
POPSAT realtime positioning	ESTEC	1984-86	117
Orbit determination altimetry satellites	ESOC	1985-86	125
ERS-1 research support	Rutherford	1985	14
POPSAT-GRM gravity mission	DGFI/ESA	1985-86	58
Baanberekening radarhoogtemeter satellieten	SRON/ZWO	1986-..	156*)
Verwerking radarhoogtemetingen	BCRS	1986-88	159*)
Comparison NAVSAT concepts	NLR/ESA	1986-87	12
Solid-earth mission	Dornier/ESA	1987	10

*) tot eind 1987

5. PERSONELE INSPANNING

In de onderstaande Tabel is de tijd in fte aangegeven, die per medewerker per jaar aan de VF taakstelling is besteed.

Huidige functie	Naam	1984	1985	1986	1987
KD	prof.ir. K.F. Wakker	0.5	0.5	0.5	0.3
UHD	ir. B.A.C. Ambrosius	0.7	0.7	0.7	0.5
UHD	ir. P.Ph. van den Broek	0.2	0.2	0.2	0.2
UHD	dr.ir. G. de Jong	-	0.2	-	-
UD	ir. R. Noomen	0.9	1.0	0.9	0.7
TO	ir. G.H.M. van Geldorp	-	-	0.3	0.9
TO	drs. H. Leenman	1.0	1.0	1.0	0.9
TO	ir. D. Oskam*)	-	-	0.3	0.9
TO	H.J.D. Piersma	0.5	0.5	0.6	0.4
TO	ir. T. van der Ploeg	0.1	-	-	-
TO	ir. R.C.A. Zandbergen	0.6	1.0	1.0	0.8
gast	dr. Chu Qi Ping	-	1.0	1.0	0.2
gast	dr. E. Papazissi	-	-	0.2	-
gast	dr. T. Borza	-	-	-	0.1
gast	mrs. Zhong Wei	-	-	-	0.1
aio	ir. E.T. Hesper	-	-	-	1.0
aio	ir. J. Sepers	-	-	-	0.8
Totaal WP		4.5	6.1	6.7	7.8
Studenten		1.5	2.5	3.0	3.5

De met *) aangegeven onderzoeker is in het kader van een samenwerking met de Werkenheid Fysische en Meetkundige Geodesie (WFMG) bij de vakgroep Mathematische en Fysische Geodesie van de Faculteit der Geodesie gedetacheerd (zie paragraaf 7.1). De in de Tabel vermelde inspanning door studenten moet niet

worden gezien als een kwantitatieve indicatie voor de omvang van het onderzoek dat alle studenten van de SBR tijdens hun afstuderen hebben verricht, maar geeft uitsluitend de onderzoekbijdragen aan van die afstudeerders die bij het onderzoek in het kader van dit VF projekt waren betrokken.

6. RESULTATEN

In grote lijnen is het onderzoekprogramma verlopen zoals was gepland bij de aanvraag voor VF in 1983. Een samenvatting van de directe resultaten in de vorm van publikaties en voordrachten is gegeven in hoofdstuk 8. In dit hoofdstuk zal per thema een beknopt overzicht worden gegeven van de belangrijkste ontwikkelingen binnen het verrichte onderzoek.

6.1. Geodynamisch onderzoek met behulp van laserafstandmetingen

Het onderzoek vindt plaats in het kader van het internationale Crustal Dynamics Project dat door het NASA Goddard Space Flight Center (GSFC) wordt geleid en gekoördineerd. Sinds de start van dit projekt in 1979 wordt er door de SBR en de WSG aan deelgenomen en wordt er halfjaarlijks over de voortgang gerapporteerd op meetings die afwisselend bij het GSFC en het NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) worden gehouden. In 1986 is als onderdeel van het Crustal Dynamics Project het WEGENER/MEDLAS projekt gestart, dat beoogt aardkorstbewegingen in het Middellandse Zeegebied te detekteren. Daartoe zijn drie mobiele lasersystemen in het Middellandse Zeegebied ingezet. Eén van deze lasers is van de WSG. De metingen van deze systemen, die in één jaar verschillende lokaties kunnen bezetten, worden samen met de metingen van vaste lasersystemen in en buiten Europa verwerkt om de aardkorstbewegingen te kunnen meten. Het projekt zal tot tenminste 1992 lopen en in deze periode zullen de mobiele lasers een aantal malen dezelfde posities in dit gebied bezetten, waardoor uiteindelijk de relatieve snelheden van die punten kunnen worden bepaald. In het kader van dit projekt wordt zeer nauw samengewerkt met de WSG, met name ten aanzien van het analyseren van meetproblemen en het interpreteren van de resultaten. Tijdens de kalibratie van het mobiele lasersysteem van de WSG in het voorjaar van 1986 in Matera heeft de SBR een actieve rol gespeeld.

In het WEGENER/MEDLAS projekt treedt de SBR als het internationale Quick-Look Data Analysis Center (QLDAC) op. Alle wereldwijd verkregen lasermetingen worden wekelijks per internationaal computernetwerk naar QLDAC verzonden, waar ze in een eerste ronde snel worden verwerkt. Nog diezelfde week wordt een rapport van de gegevensverwerking per electronic mail naar alle deelnemende internationale groepen verzonden. De belangrijkste reden voor deze snelle verwerking is om de kwaliteit van de operationele lasers te bewaken en om, indien blijkt dat de metingen van een systeem in kwaliteit achteruit gaan, snel passende acties te kunnen nemen. Een dergelijke kwaliteitscontrole kan niet door de systemen zelf worden verricht, maar kan pas worden uitgevoerd wanneer de metingen van alle systemen beschikbaar zijn. Een tweede doelstelling van de QLDAC activiteiten is om snel over redelijk nauwkeurige informatie over de bewegingen in het Middellandse Zeegebied te beschikken.

Op grond van de bewezen deskundigheid werd de SBR in 1987 gevraagd om één van de operationele analyse centra in het International Earth Rotation Service (IERS) projekt van de International Astronomical Union (IAU) en de International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) te worden. De doelstelling van dit projekt is om met verschillende meettechnieken de rotatiebeweging van de aarde zeer precies te meten. Eén van de meetconcepten is gebaseerd op het snel

verwerken van de wereldwijde quick-look laserafstandmetingen. Voor dit concept zijn twee internationale operationele centra aangewezen: SBR en het Center for Space Research (CSR) aan de University of Texas at Austin, die beide voor tenminste 10 jaar deze inspanning zullen gaan leveren. Vanaf midden 1987 wordt door de SBR wekelijks een oplossing voor de rotatieparameters van de aarde naar het Bureau International de l'Heure (BIH), Parijs, en het US Naval Observatory (USNO), Washington, gezonden.

Eind 1986 werd de NASA Group Achievement Award door de Directie van NASA aan het Crustal Dynamics Project toegekend. Als erkenning voor de inspanning van de WSG en de SBR besloot het GSFC in 1987 een op naam gestelde kopie van deze Award aan de betrokken onderzoekers van de WSG en SBR uit te reiken.

In de periode 1984 t/m 1987 zijn vele wereldwijd verkregen laserafstandmetingen naar de satellieten LAGEOS en STARLETTE verwerkt. De rekenmethodieken konden zodanig worden verfijnd, dat op dit moment zeer nauwkeurige baanberekeningen kunnen worden gerealiseerd. Voor LAGEOS wordt bijvoorbeeld een nauwkeurigheid van ca. 10 cm in de radiale richting bereikt. Hiervoor is een zeer gedetailleerde modellering van de op de satelliet werkende stoorkrachten nodig en moesten verschillende bestaande modellen worden bijgesteld en afgeregeld. De eerste resultaten voor de berekening van de globale aardkorstbewegingen zijn verkregen tussen aardschollen met een verwachte grote relatieve snelheid. Er zullen echter gegevensbestanden over tenminste nog 5 jaar verwerkt moeten worden om de relatieve beweging van alle aardschollen in detail te kunnen meten. Voor wat betreft het WEGENER/MEDLAS project zijn de metingen van 1986 volledig verwerkt en worden de eerste resultaten voor de aardkorstbeweging in het Middellandse Zeegebied in 1990 verwacht, wanneer de lokaties in dit gebied tenminste tweemaal door de mobiele lasers zijn bezet. Op dit gebied wordt zeer nauw samengewerkt met het GSFC, CSR, het Institut für Angewandte Geodäsie (IfAG) te Frankfurt, het Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI) te München en Bendix Field Engineering Corporation te Greenbelt.

6.2. Geofysisch en oceanografisch onderzoek met behulp van radarhoogtemetingen

Al sinds 1978 verricht de SBR onderzoek op het gebied van de nauwkeurige baanberekening van de SEASAT satelliet en het gebruik van de door deze satelliet gedurende de periode juli-oktober 1978 geleverde radarhoogtemetingen, zowel in de baanberekening als voor het modelleren van het gemiddelde zeeoppervlak en het detekteren van grootschalige oceaanstromingen. Het onderzoek met behulp van SEASAT waarnemingen is tot eind 1987 gekontinueerd. Een van de doelstellingen hiervan was om ervaring op te doen waarmee een vooraanstaande rol zou kunnen worden gespeeld bij onderzoekprojecten in het kader van toekomstige satellietmissies. Twee belangrijke missies voor dit type onderzoek zijn de ESA ERS-1 satelliet, die in 1990 zal worden gelanceerd, en de Amerikaans/Franse TOPEX/POSEIDON satelliet, die in 1991 zal worden gelanceerd.

Sinds de eerste ERS-1 kontraktstudie, die in 1982/83 voor ESA werd uitgevoerd, is de SBR nauw betrokken bij de voorbereiding van het onderzoek met de ERS-1 radarhoogtemeter. In dit kader vindt regelmatig overleg plaats met het GSFC, CSR, DGFI, het Rutherford Appleton Laboratory (RAL), waarvoor in 1985 een studie werd uitgevoerd, en uiteraard ESA. In 1985/86 is voor ESA een tweede kontraktstudie op dit terrein verricht.

In 1985 werd gekonstateerd dat om een vooraanstaande rol in het ERS-1 project te kunnen spelen een verbreding van het onderzoek binnen Nederland noodzakelijk was. Dit heeft in 1986 geleid tot de oprichting van het Dutch Altimetry

Team (DAT), waarin een aantal Nederlandse instituten samenwerken (zie paragraaf 7.1). In 1986 heeft DAT gereageerd op Announcements of Opportunity, die door ESA en NASA/CNES werden uitgegeven voor onderzoek in het kader van de ERS-1 en TOPEX/POSEIDON satellietmissies. De door DAT ingediende onderzoeksvoorstellen kregen van ESA en NASA/CNES een zeer goede beoordeling en werden daarmee geaccepteerd. Als Principal Investigator voor dit onderzoek, dat tot tenminste 1995 zal duren, treedt de programmaleider van de in dit rapport beschreven VF taakstelling op.

Het onderzoek met behulp van laserafstandmetingen naar SEASAT en radarhoogtemetingen van SEASAT heeft geresulteerd in de ontwikkeling van geavanceerde technieken, waarmee de baan van dergelijke satellieten zeer nauwkeurig kan worden berekend en nog verder kan worden verbeterd met behulp van niet-dynamische korrektie methoden. Tevens zijn methoden ontwikkeld waarmee met behulp van radarhoogtemetingen mesoscale zeeopstromingen kunnen worden gedetekteerd en het gemiddelde zeeoppervlak kan worden gemodelleerd. Speciale grafische computertechnieken zijn beschikbaar gekomen om de resultaten in een voor het menselijk oog meest geschikte vorm te presenteren. De eerste resultaten hebben al de aanwezigheid van enige mesoscale wervels onthuld en een gedetailleerd beeld opgeleverd van het gemiddelde zeeoppervlak, en daarmee van de topografie van de zeebodem, in geofysisch interessante gebieden.

Sinds 1987 wordt in het onderzoek gebruik gemaakt van radarhoogtemetingen die op dit moment routinematig door de US Navy satelliet GEOSAT worden verricht. Deze waarnemingen worden maandelijks door het US National Oceanographic Data Center (NODC), Washington, via de Nederlandse Ambassade in Washington aan de SBR toegezonden.

6.3. Plaatsbepaling en baanberekening met behulp van navigatiesatellieten

Sinds 1983 vindt bij de SBR onderzoek plaats naar het gebruik van navigatiesatellieten voor de plaatsbepaling van punten op aarde, navigatie en de baanberekening van andere satellieten. Voor wat dit laatste aspect betreft is vooral de toepassing van het in 1990 operationele US NAVSTAR/GPS systeem voor de baanberekening van ERS-1 bestudeerd.

In 1983 is de SBR door het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) uitgenodigd deel te nemen aan een ESA studie op het gebied van een door Europa te ontwikkelen civiele variant van het NAVSTAR systeem. Dit concept staat bekend als NAVSAT. In de periode 1984-1987 is driemaal als subkontraktant van het NLR deelgenomen aan ESA NAVSAT studies. In deze studies heeft de SBR vooral bijdragen geleverd op de navolgende gebieden: baanbepaling en baanvoorspelling van de 18 tot 24 satellieten van dit systeem, keuze van de optimale baankonfiguratie, kompressie van de naar de satellieten en door de satellieten uit te zenden gegevens, Kalman filter baankorrektie, navigatie met behulp van de satelliet signalen. De gezamenlijke NLR en SBR inspanningen vormden een onderdeel van internationale studies, die uiteindelijk hebben geleid tot een optimaal concept voor een dergelijk satelliet-navigatiesysteem.

Eind 1986 is het onderzoek naar het gebruik van het NAVSTAR/GPS systeem voor het met extreme nauwkeurigheid bepalen van de positie van geodetische referentiepunten op aarde en voor de baanbepaling van satellieten in lage banen geïntensiveerd. Uitgebreide programmatuur voor de verwerking van de satelliet signalen is ter beschikking gekomen en deze programmatuur is gebruikt om de relatieve posities van een viertal in Nederland door GPS ontvangers ingemeten punten te bepalen. De eerste resultaten hebben aangetoond dat voor een afstand

van ca. 200 km een precisie van ca. 10 cm is bereikt. De programmatuur zal de komende jaren aanzienlijk worden uitgebreid, waardoor het onderzoek naar de toepasbaarheid van dit meetconcept voor het meten van aardkorstbewegingen verder kan worden verdiept.

6.4. Nieuwe concepten van satellieten voor geodetisch en geofysisch onderzoek
Sinds 1981 is de SBR betrokken bij ESA studies op het gebied van een toekomstige satellietmissie voor geodetisch en geofysisch onderzoek. Oorspronkelijk stond een dergelijke satelliet bekend onder de naam POPSAT en was de missie vooral gericht op het bepalen van de posities van punten op aarde en van de aardrotatie. De SBR heeft voor dit satellietconcept verschillende kontraktstudies voor ESA uitgevoerd, waarvan sommige onder subkontrakt van het DGFI. Het onderzoek van de SBR lag hierbij vooral op de volgende gebieden: keuze van de optimale meetconcepten voor het meten van de beweging van de satelliet, bepalen van de nauwkeurigheid waarmee de baan van de satelliet berekend zal kunnen worden, verbeteren van de bestaande gravitatiemodellen zodat zij een maximale nauwkeurigheid voor de baanberekening van POPSAT hebben, verwerken van de satellietsignalen in de berekening van de koördinaten van grondstations en van de rotatiebeweging van de aarde, gebruik van POPSAT voor de plaatsbepaling van langzaam bewegende gebruikers, en het gebruik van POPSAT als bewegend volgstation voor de berekening van de baan van een satelliet op lagere hoogte. Tevens is onderzoek verricht naar een geschikt standregelsysteem voor POPSAT, waarbij deze gravitatie-gradiënt gestabiliseerde satelliet langzaam om de naar de aarde gerichte as kon roteren, hetgeen om thermische redenen gewenst was. Alle studies, die zowel door de SBR als andere groepen in Europees verband voor ESA zijn uitgevoerd, hebben aangetoond dat de doelstellingen van de POPSAT missie kunnen worden verwezenlijkt en hebben geleid tot een optimaal satellietconcept.

Onder dit thema is ook onderzoek verricht naar het ontwikkelen van methoden waarmee uit metingen, die tijdens de vlucht van een satelliet zijn verkregen, de parameters in een mathematisch model voor een flexibele satelliet kunnen worden geschat. Hierdoor kan een beter model worden ontwikkeld voor de rotatiebeweging van grote toekomstige satellieten voor geofysisch onderzoek.

In 1986 werd op een bijeenkomst van Europese geofysici en ESA, waarbij ook de SBR was vertegenwoordigd, besloten voorlopig niet verder te gaan met het POPSAT concept, maar te onderzoeken of in plaats van POPSAT een geofysische satelliet voor het gedetailleerd meten van het aardse zwaartekrachtsveld gerealiseerd zou kunnen worden. Dit satellietconcept staat bekend onder de namen Solid Earth Mission (SEM), GRADIO en ARISTOTELES. De SBR heeft onder subkontrakt van Dornier System aan voorstudies voor ESA betreffende een dergelijke satelliet meegewerkt, waarbij het zwaartepunt van het onderzoek lag op het gebied van het modelleren van de luchtkrachten die op de satelliet, die op een hoogte van slechts 160-240 km zal vliegen, werken, de baanberekening van de satelliet en de techniek van het meten van het gravitatieveld met behulp van afstand- en snelheidsmetingen tussen die satelliet en een andere satelliet in een hoge baan (b.v. POPSAT).

In 1987 is samen met de WFMG van de Faculteit der Geodesie van de TU-Delft zitting genomen in een Europees consortium van wetenschappelijke instituten die in de ARISTOTELES missie zijn geïnteresseerd. In 1988-1989 zal dit consortium een gedetailleerde studie voor ESA verrichten naar de haalbaarheid van deze missie en naar de meest geschikte methoden om uit de metingen die de

satelliet zal leveren een nauwkeurig en zeer gedetailleerd model voor het aardse gravitatieveld te kunnen afleiden.

7. SAMENWERKING

Zoals reeds eerder is vermeld wordt de VF taakstelling in nauwe samenwerking met de WSG uitgevoerd. In het kader van deze samenwerking vindt geregeld werkoverleg plaats, waarin de wederzijdse activiteiten en resultaten worden besproken en het onderzoek onderling wordt afgestemd. Daarnaast werkt de SBR samen met andere groepen, die niet aan deze VF taakstelling deelnemen. Sommige van deze samenwerkingsverbanden zijn in hoofdstuk 6 al vermeld, maar voor de volledigheid zal in het onderstaande een overzicht worden gegeven van samenwerkingsverbanden. Hierbij worden alleen die instituten genoemd waarmee regelmatig overleg plaatsvindt en niet de instituten waarmee incidentele contacten zijn.

7.1. Nationale samenwerking

In het kader van het onderzoek in de thema's: "Geofysisch en oceanografisch onderzoek met behulp van radarhoogtemetingen" en "Nieuwe concepten van satellieten voor geodetisch en geofysisch onderzoek" wordt samengewerkt met de WFMG. Als gevolg van de intensieve samenwerking tussen de Faculteit der Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek en de Faculteit der Geodesie op het gebied van het gebruik van satellieten voor geodetisch en geofysisch onderzoek, is in 1986 het plan ontstaan het onderzoek van de SBR, de WSG en de WFMG te bundelen en een duidelijk eigen gezicht naar buiten te geven. Ook SRON, die delen van het onderzoek van de drie groepen separaat financiert, had om een dergelijke bundeling gevraagd. Dit plan heeft geresulteerd in de nota: "Earth Oriented Space Research at Delft University of Technology", die in 1987 aan het College van Bestuur van de TU-Delft en SRON is aangeboden. In deze nota wordt ondermeer het onderzoekveld voor de komende tien jaar gedefiniëerd, wordt om een structurele aanvullende financiering vanuit de centrale TU-Delft middelen gevraagd en wordt aangekondigd dat de drie betrokken groepen een gezamenlijke taakstelling voor de nieuwe VF-ronde zullen indienen. Het College van Bestuur heeft deze nota positief beoordeeld, maar zal pas medio 1988 een definitieve beslissing kunnen nemen. Vooruitlopend op deze beslissing heeft het College van Bestuur wel extra middelen voor dit onderzoek ter beschikking gesteld, die de periode tot augustus 1988 overbruggen.

In paragraaf 6.2 is al vermeld dat in 1986 het Dutch Altimetry Team (DAT) is opgericht. Hieraan nemen behalve de SBR, de WSG en de WFMG de volgende instituten deel: Instituut voor Meteorologie en Oceanografie (IMOU), RU-Utrecht, Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ) en de Dienst Getijdewateren van Rijkswaterstaat. Hierdoor heeft binnen Nederland een aanzienlijke verbreding plaatsgevonden van het onderzoek dat door de SBR in het onderzoekthema "Geofysisch en oceanografisch onderzoek met behulp van radarhoogtemetingen" wordt verricht. De gekoördineerde activiteiten van het DAT richten zich vooral op de voorbereiding van het onderzoek in het kader van de toekomstige ESA ERS-1 en NASA/CNES TOPEX/POSEIDON satellietmissies.

In het onderzoekthema "Plaatsbepaling en baanberekening met behulp van navigatiesatellieten" wordt samengewerkt met het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR), waarvoor een aantal kontraktstudies werden verricht. Ook vindt er op het gebied van de nauwkeurige standregeling van satellieten,

waarop onderzoek wordt verricht binnen het thema "Nieuwe concepten van satellieten voor geodetisch en geofysisch onderzoek" overleg plaats met het NLR.

Uiteraard bestaat er ook al geruime tijd een samenwerkingsverband met SRON en BCRS, die het onderzoek van de SBR binnen de thema's "Geodynamisch onderzoek met behulp van laserafstandmetingen" en "Geofysisch en oceanografisch onderzoek met behulp van radarhoogtemetingen" financieel ondersteunen.

7.2. Internationale samenwerking

Het onderzoek dat de SBR onder het thema "Geodynamisch onderzoek met behulp van laserafstandmetingen" uitvoert moet, samen met het onderzoek van de WSG, als de Nederlandse deelname aan het internationale en door het NASA GSFC geleide en gekoördineerde Crustal Dynamics Project worden beschouwd. In het kader van dit projekt wordt er door de SBR tweemaal per jaar voor het internationale forum gerapporteerd over de voortgang van het onderzoek. Voor het onderzoek van de SBR in dit projekt en het deelprojekt WEGENER/MEDLAS (paragraaf 6.1) wordt vooral samengewerkt met het GSFC, het Center for Space Research (CSR) aan de University of Texas at Austin, het Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI) te München en het Institut für Angewandte Geodäsie (IfAG) te Frankfurt. In het kader van de operationele activiteiten van de SBR ten behoeve van het IERS programma (paragraaf 6.1) worden kontakten onderhouden met het Bureau International de l'Heure (BIH) te Parijs en het US Naval Observatory (USNO) te Washington.

Voor het onderzoek dat de SBR onder het thema "Geofysisch en oceanografisch onderzoek met behulp van radarhoogtemetingen" uitvoert bestaan regelmatige kontakten met ESA (Parijs), ESTEC, het US National Oceanographic Data Center (NODC) te Washington en het Jet Propulsion Laboratory (JPL) te Pasadena. Op dit gebied wordt samengewerkt met: GSFC, CSR, DGFI en het Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) te Toulouse.

Voor het onderzoek onder de thema's: "Plaatsbepaling en baanberekening met behulp van navigatiesatellieten" en "Nieuwe concepten van satellieten voor geodetisch en geofysisch onderzoek" vindt regelmatig overleg plaats met ESA (Parijs), European Space Operations Centre (ESOC), Darmstadt, ESTEC, GSFC, CSR, Dornier System, Friedrichshaven, en het Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales (ONERA), Parijs. Naast dit gestructureerde overleg vindt er uiteraard veel voor het onderzoek zeer nuttig overleg plaats in het kader van functies die de deelnemers aan deze taakstelling in internationale commissies, e.d., bekleden.

8. PUBLIKATIES EN PRESENTATIES

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de publikaties en voordrachten die op het onderzoek van de VF taakstelling betrekking hebben. De publikaties en presentaties zijn per onderzoekthema gegroepeerd. Naast de wetenschappelijke publikaties zijn ook vakpublikaties opgenomen. Afstudeerverslagen van studenten die aan de VF taakstelling hebben meegewerkt zijn, hoewel zij betrekking hebben op essentiële onderdelen van het onderzoek, niet opgenomen. Het merendeel van de op kongressen, symposia, e.d., gegeven presentaties heeft betrekking op invited papers.

8.1. Geodynamisch onderzoek met behulp van laserafstandmetingen

8.1.1. Wetenschappelijke publikaties en presentaties

R. Noomen, B.A.C. Ambrosius, K.F. Wakker

Preliminary results of a collocation experiment between MTLRS-1 and the fixed Kootwijk laser, paper presented at Crustal Dynamics Working Group Meeting, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, 18-19 oktober 1984.

B.A.C. Ambrosius, K.F. Wakker

Coordinate solutions for Kootwijk, Wettzell, Grasse and Metsahovi from LAGEOS and STARLETTE laser tracking data, Proceedings of the 3rd International Symposium on the Use of Artificial Satellites for Geodesy and Geodynamics, Athens, september 1982, National Technical University of Athens, december 1984.

B.A.C. Ambrosius, R. Noomen, K.F. Wakker

Concept of the quick-look data processing and analysis scheme in the WEGENER-MEDLAS project, paper presented at Crustal Dynamics Working Group Meeting, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, 19-20 maart 1985.

K.F. Wakker, B.A.C. Ambrosius, L. Aardoom

Orbit determination and European station positioning from satellite laser ranging, J. Geophys. Res., Vol. 90, No. B11, p. 9275-9283, september 1985.

K.F. Wakker, B.A.C. Ambrosius, R. Noomen

Progress report of the Delft Quick-Look Data Analysis Center, paper presented at Crustal Dynamics Working Group Meeting, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, 16-18 oktober 1985.

B.A.C. Ambrosius, R. Noomen, K.F. Wakker

Bijdrage aan: WEGENER-MEDLAS project plan, IfAG, Frankfurt, december 1985.

B.A.C. Ambrosius, R. Noomen, K.F. Wakker

Analysis of global quick-look laser ranging data acquired during the deployment of MTLRS-1 and -2 in Matera, in early 1986, paper presented at Crustal Dynamics Working Group Meeting, JPL, Pasadena, maart 1986.

R. Noomen, B.A.C. Ambrosius, K.F. Wakker, E.T. Hesper

First results of the WEGENER-MEDLAS Quick-Look Data Analysis Center, paper presented at International WEGENER Conference, Dionysos, mei 1986.

R. Noomen, B.A.C. Ambrosius, K.F. Wakker, H.J.D. Piersma

European laser station positioning from LAGEOS laser ranging, ESOC Flight Dynamics Symposium, Darmstadt, ESA-SP-255, p. 215-222, oktober 1986.

K.F. Wakker, B.A.C. Ambrosius, R. Noomen, H. Leenman

Analysis of global quick-look laser ranging data acquired during the period March 30 - August 31, 1986, paper presented at Crustal Dynamics Working Group Meeting, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, oktober 1986.

R. Noomen, B.A.C. Ambrosius, H.J.D. Piersma, K.F. Wakker

Positioning of the laser stations at Graz, Herstmonceux and Matera with LAGEOS data obtained during the MERIT campaign, paper presented at GINFEST Steering Committee meeting, Nottingham, januari 1987.

B.A.C. Ambrosius, R. Noomen, H. Leenman, K.F. Wakker

Some results of the analysis of the 1986 quick-look and initial full-rate data, paper presented at NASA Crustal Dynamics Working Group meeting, JPL, Pasadena, maart 1987.

K.F. Wakker, R. Noomen, B.A.C. Ambrosius, H. Leenman

Analysis of WEGENER-MEDLAS full-rate and quick-look laser ranging data, paper presented at 3rd International Conference on the WEGENER-MEDLAS project, Bologna, mei 1987.

K.F. Wakker, R. Noomen, B.A.C. Ambrosius

Analysis of 1986 WEGENER-MEDLAS full-rate data, paper presented at Crustal Dynamics Working Group meeting, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, oktober 1987.

K.F. Wakker, R. Noomen, H. Leenman, B.A.C. Ambrosius

Analysis of 1987 WEGENER-MEDLAS quick-look data, paper presented at NASA Crustal Dynamics Working Group meeting, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, oktober 1987.

E. Papazissi, R. Noomen, B.H.W. van Gelder

The Monte Generoso-Zimmerwald baseline from satellite laser ranging data using various analysis techniques, Report LR-533, Faculteit LR, TU-Delft, oktober 1987.

B.A.C. Ambrosius, R. Noomen, K.F. Wakker, E. Papazissi

Accuracy aspects of recent laser station positioning experiments, Annales Geophysicae, Vol. 5B, No. 6, p. 523-532, december 1987.

K.F. Wakker

Het bepalen van aardkorstbewegingen met behulp van geodetische satellieten, Genootschap voor Natuurkunde, Diligentia, Natuurkundige Voordrachten, Nieuwe Reeks, No. 65, p. 35-49, 1987.

8.1.2. Vakpublicaties en presentaties

L. Aardoom, K.F. Wakker

Satellietbanen voor geodetisch en geofysisch onderzoek, Ruimtevaart, Vol. 33, p. 194-206, december 1984.

L. Aardoom, K.F. Wakker

De Nederlandse deelname aan NASA's Crustal Dynamics Project, Ruimtevaart, Vol. 33, p. 215-224, december 1984.

K.F. Wakker

WEGENER-MEDLAS laser range quick-look data analysis at Delft University, lecture at the International School of Geodesy "A. Marussi", Erice, juni 1987.

8.2. Geofysisch en oceanografisch onderzoek met behulp van radarhoogtemetingen

8.2.1. Wetenschappelijke publicaties en presentaties

K.F. Wakker, J. Powell

Report of the Advisory Panel on Satellite Tracking, in the final EARSeL report of Working Group 6 on Ocean Topography, Wormley, Engeland, april 1984.

K.F. Wakker, B.A.C. Ambrosius

Tracking requirements for precise ERS-1 orbit determination, ESA Workshop on ERS-1 Radar Altimeter Data Products, Frascati, ESA SP-221, p. 73-78, augustus 1984.

K.F. Wakker, B.A.C. Ambrosius

Precise tracking and orbit determination of ERS-1, Acta Astronautica, Vol. 12, No. 4, p. 213-224, 1985.

K.F. Wakker

Bijdrage aan: Precise orbit determination for ERS-1, mid-term report, Rutherford Appleton Laboratory, contract ERS-DC, juli 1985.

K.F. Wakker

Bijdrage aan: Precise orbit determination for ERS-1, final report, Rutherford Appleton Laboratory, contract ERS-DC, augustus 1986.

R.C.A. Zandbergen, K.F. Wakker, B.A.C. Ambrosius

Analysis of radial orbit errors of ERS-1 and the development of super-tailored gravity models, 26th COSPAR congress, Toulouse, Adv. Space Res., Vol. 6, No. 9, p. 183-194, 1986.

K.F. Wakker, B.A.C. Ambrosius, R.C.A. Zandbergen, G.H.M. van Geldorp

Precise orbit computation, gravity model adjustment and altimeter data processing for the ERS-1 altimetry mission, final report ESA contract 6140/84/D/IM, 302 p., ESA CR(P)-2436, februari 1987.

K.F. Wakker, R.C.A. Zandbergen, G.H.M. van Geldorp, B.A.C. Ambrosius

From satellite altimetry to ocean topography, A survey of data processing techniques, paper presented at EARSeL Symposium on European Remote Sensing Needs in the 1990's, Noordwijkerhout, mei 1987; wordt gepubliceerd in de Conference Proceedings.

K.F. Wakker, R.C.A. Zandbergen, B.A.C. Ambrosius

SEASAT orbit determination experiments in preparation for the ERS-1 altimetry mission, paper presented at AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Kalispell, augustus 1987; wordt gepubliceerd in de Conference Proceedings.

8.2.2. Vakpublicaties en presentaties

R.C.A. Zandbergen, B.A.C. Ambrosius, G.H.M. van Geldorp, K.F. Wakker

Baanberekening van de aardobservatiesatellieten SEASAT en ERS-1, en de bepaling van het oceaanooppervlak uit radarhoogtemetingen, overzicht t.b.v. het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen, november 1984.

R.C.A. Zandbergen

Waterbergen en dalen in oceanen, Technovisie, p. 19-23, december 1985.

K.F. Wakker

Application of radar altimeter measurements to global precise orbit computation, and sea surface modeling in the North Atlantic, the West Pacific and the Antarctic, proposal for investigation in response to the ESA ERS-1 announcement of opportunity, Faculteit LR, TU-Delft, oktober 1986.

K.F. Wakker

Precise orbit computation and sea surface modeling in the North Atlantic, the West Pacific and the Antarctic, proposal for investigation in response to the NASA/CNES TOPEX/POSEIDON announcement of opportunity, Faculteit LR, TU-Delft, december 1986.

R.C.A. Zandbergen

Satellietmetingen aan het oceanoppervlak, De Kunstmaan, Vol. 14, No. 2 en 3, juni en juli 1987.

8.3. Plaatsbepaling en baanberekening met behulp van navigatiesatellieten

8.3.1. Wetenschappelijke publikaties en presentaties

K.F. Wakker, B.A.C. Ambrosius, H. Leenman, R. Noomen, H.J.D. Piersma, T. van der Ploeg, E. Schrama

Study on the NAVSAT control segment characteristics, Part 2: Orbit computation aspects, final study report, ESA contract 5501/83/F/RD(SC), 167 p., september 1984.

L.J.M. Joosten, K.F. Wakker

Study on the NAVSAT control segment characteristics, Part 3: Executive Summary, final study report, ESA contract 5501/83/F/RD(SC), 32 p., april 1985.

K.F. Wakker, B.A.C. Ambrosius, H. Leenman, R. Noomen

Navigation and orbit computation aspects of the ESA NAVSAT system concept, 36th IAF congress, Stockholm, Acta Astronautica, Vol. 15, No. 4, p. 195-208, april 1987.

B.A.C. Ambrosius

NAVSAT/GRANAS comparison study, Orbit configuration and control, paper presented at final presentation ESA contract study 6802/86/F/RD(SC), mei 1987.

B.A.C. Ambrosius, J.A. Bosgra, N. van Driel, L.J.M. Joosten, F. Klinker, A. Monkel, O.B.M. Pietersen, C. Slippens

Recommendations for the concept of a global civil satellite navigation system, based on comparison of NAVSAT and GRANAS, final report ESA contract 6802/86/F/RD(SC), november 1987.

8.3.2. Vakpublicaties en presentaties

R. Noomen

NAVSAT, toonbeeld van een nieuwe generatie navigatiesystemen, Ruimtevaart, Vol. 33, No. 3, p. 90-98, juni 1984.

8.4. Nieuwe concepten van satellieten voor geodetisch en geofysisch onderzoek

8.4.1. Dissertaties

Qi Ping Chu

Maximum likelihood parameter identification of flexible spacecraft, TU-Delft, maart 1987. Deze dissertatie is in samenwerking met onderzoekers van de VF taakstelling "Stabiliteits- en besturingseigenschappen/Vliegmechanica van Vliegtuigen" (LR-05/84-35) tot stand gekomen.

8.4.2. Wetenschappelijke publikaties en presentaties

K.F. Wakker, B.A.C. Ambrosius, H. Leenman
Study on the use of POPSAT for real-time positioning, final report Phase 1, ESTEC contract 6150/85/NL/BI, 18 p., ESA CR(P)-2339, februari 1985.

K.F. Wakker, B.A.C. Ambrosius, H. Leenman
Bijdragen aan: Satellite-to-satellite tracking between POPSAT and an ERS-class satellite, Dornier System, final report ESA contract 5715/83/NL/MS, april 1985.

K.F. Wakker, B.A.C. Ambrosius
Orbit determination error analysis for POPSAT and ERS-1, Adv. Space Res., Vol. 5, No. 2, p. 137-146, 1985.

B.A.C. Ambrosius, K.F. Wakker, H. Leenman, P.Ph. van den Broek, G. de Jong
The use of POPSAT for real-time positioning, final report ESA contract 6150/85/NL/BI, Part 1: Principles of satellite positioning systems; Part 2: Simulation results; Part 3: Executive summary, 161 p. + 194 p. + 25 p., augustus 1986.

K.F. Wakker, B.A.C. Ambrosius, H. Leenman
Contribution to: Study of a satellite-to-satellite tracking gravity mission, final report ESA contract 6557/85/NL/PP(SC), augustus 1986.

8.4.3. Vakpublikaties en presentaties

K.F. Wakker
Baanberekeningsstudies voor toekomstige geofysische satellieten van ESA, Ruimtevaart, Vol. 33, p. 225-237, december 1984.

K.F. Wakker
Some results of simulations for the POPSAT geodetic satellite mission, lecture at the International School of Geodesy "A. Marussi", Erice, juni 1987.

Memorandum 590



60142081299