

**HET EERSTE ORDE
ZWAARTEKRACHTNET VAN NEDERLAND
EN HET
NEDERLANDS ZWAARTEKRACHTDATUM 1993 (NEDZWA93)**

ERIK DE MIN

1995

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Min, Erik de

Het eerste orde zwaartekrachtmet van Nederland: en het
Nederlands zwaartekrachtmet datum 1993 (NEDZWA93) / Erik de
Min. - Delft: Nederlandse Commissie voor Geodesie. -
Ill. - (Publikatie / Nederlandse Commissie voor Geodesie
; 32)

Met lit. opg.

ISBN 90-6132-251-0

Trefw.: gravitatie.

Druk: Meinema Drukkerij, Delft

Inhoud

1	Inleiding	1
2	TUD netwerk	6
3	RWS netwerk	15
4	NED91 netwerk en NED93 netwerk	31
5	Vergelijking van de vier netten en het maken van het Nederlandse zwaartekrachtsdatum 1993 (NEDZWA93)	42
6	Onderzoek naar de mogelijkheid tot het vormen van één eerste orde net in Nederland	58
7	Conclusies	64
8	Literatuur	66
A	Instrumentgegevens	67
B	Mathematisch model voor de vereffening van zwaartekrachtnetwerken	68
C	Puntcodes voor punten met meer dan 1 code	72

1 Inleiding

Recente geschiedenis

In Nederland zijn nooit erg veel zwaartekrachtmetingen gedaan, zoals dat in de meeste andere Europese landen wel is gebeurd. Dit komt vooral omdat in Nederland geen orthometrische correcties aan de waterpasmetingen hoeven te worden aangebracht. De laatste jaren is echter de berekening van een nauwkeurige geoid van groter belang geworden, zodat het noodzakelijk was om een dicht zwaartekrachtnet op te zetten.

De Faculteit der Geodesie van de Technische Universiteit Delft (TUD) heeft in 1985 een moderne zwaartekrachtmeter (gravimeter) aangeschaft waarmee relatieve zwaartekrachtmetingen op land kunnen worden uitgevoerd. Eerder waren ook al minder nauwkeurige gravimeters beschikbaar, maar over het algemeen werd er niet systematisch een zwaartekrachtnet onderhouden. Met de LaCoste-Romberg gravimeter die in 1985 werd aangeschaft is wel een nauwkeurig net onderhouden. Op ongeveer 25 stations van de Nederlandse Spoorwegen werd een meetpunt gevestigd. Ieder jaar is op deze punten gemeten. De punten zijn gekozen op de stations, omdat zo een goede en snelle reisverbinding gewaarborgd was. Bovendien is het vervoer per trein voor de gravimeter beter dan met een auto. In een trein ondergaat het instrument minder schokken. Deze schokken zijn doorgaans de bepalende factor voor de uiteindelijke precisie van de resultaten.

Vanaf ongeveer 1987 heeft ook de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat (RWS) activiteiten ondernomen op het zwaartekrachtgebied. Dit heeft als belangrijkste reden dat met satelliet plaatbepalingssystemen zoals GPS (Global Positioning System) de mogelijkheid ontstond om orthometrische hoogteverschillen te bepalen in korte tijd. Hiervoor moet echter wel een reductie worden toegepast waarvoor de geoidhoogteverschillen nodig zijn. En daarvoor is weer zwaartekrachtinformatie nodig. Dit was de directe reden om een zwaartekrachtnet op te zetten in Nederland. In 1987 is het zogenaamde eerste orde net gemeten bestaande uit 28 punten, waarvan er 20 ondergrondse merken (OM) zijn. Dit zijn de hoofdpunten van het hoogtenet van Nederland (NAP), dat door de MD wordt onderhouden. De keuze van deze punten was met name gebaseerd op de toegankelijkheid voor de MD zelf,

en het langdurig beschikbaar blijven van de punten. Bij elk van deze punten zijn 3 excentrische punten gemeten die bij een externe verstoring van het hoofdpunt voor herstel van het punt moeten kunnen zorgen. Het eerste orde net is opgezet in samenwerking met de Faculteit der Geodesie.

In 1989 is begonnen met het meten van het tweede orde net dat heel Nederland zal bedekken. Dit net zal bestaan uit 1 punt per 5 km². Deze waarnemingen zullen in groepen worden uitgerekend, waarbij de eerste orde punten als bekende punten zullen dienen. Eind 1994 is het hele net gemeten.

In 1990 is het eerste orde net van RWS opnieuw gemeten. Dit biedt de mogelijkheid om te kijken of er veranderingen zijn opgetreden sinds 1987. Dit kan belangrijk zijn voor het bepalen van absolute bodembeweging, hetgeen de laatste jaren veel aandacht heeft gekregen. Uit de vergelijking moet blijken of dit net geschikt is om zo'n eventuele bodembeweging te kunnen detecteren.

In 1991, tijdens het absolute zwaartekrachtproject waarbij de absolute zwaartekrachtwaarde is bepaald in Kootwijk en Westerbork (Strang van Hees e.a., 1995), is een relatief zwaartekrachtmeting gemeten dat zowel op deze 2 absolute punten, als het TUD net en het RWS net aansluit. Dit net wordt in dit verslag NED91 genoemd. Dit NED91 geeft de mogelijkheid om de beide netwerken van TUD en RWS te koppelen aan de twee absolute punten die zijn bepaald in 1991 in Kootwijk en Westerbork, zodat ook werkelijke absolute waarden voor alle punten bekend zijn. Tot nu toe is het TUD net via een onduidelijke omweg bepaald op basis van een Duitse absolute waarde, en het RWS net is gebaseerd op 6 Duitse 1e orde punten die vlak over de grens liggen.

In 1993 zijn weer 2 absolute zwaartekrachtwaarden bepaald, dit maal in Kootwijk en Epen. Daarbij zijn ook weer aansluitingen gemeten naar het TUD net en het RWS net en bovendien zijn punten gemeten van het Duitse 1e orde net. Dit net wordt NED93 genoemd.

Inhoud van het verslag

In dit verslag zal worden ingegaan op de bovengenoemde eerste orde zwaartekrachtmetingen. Voor ieder net wordt uitgebreid beschreven hoe het net er uit ziet, hoeveel waarnemingen zijn gedaan, wat de resultaten van de vereffening zijn, welke precisie en betrouwbaarheid zijn gehaald en tevens zal de stabiliteit en toegankelijkheid van de punten worden beschreven. Dit wordt gedaan omdat tot nu toe nooit een voldoende goede beschrijving van het gehele net verschenen is. Van het RWS netwerk is een beschrijving gegeven door Löwik (1989). Er is echter nooit veel aandacht besteed aan een beschrijving van de werkelijke resultaten die door de TUD zijn berekend en de manier van verwerking. Van de RWS metingen uit 1990, die ook door

de TUD zijn verwerkt, en de TUD metingen is ook nog nooit een verslag verschenen met daarin een beschrijving van de verwerking en de resultaten. Alleen door De Min en Plugers (1993) is dit wel eens aangestipt. In de hoofdstukken 2 en 3 zal worden ingegaan op de netwerken en resultaten van respectievelijk het TUD en RWS net en een analyse daarvan wordt gegeven.

In hoofdstuk 4 zal aandacht worden geschonken aan de aansluitnetwerken NED91 en NED93 aan de absolute metingen. Op basis van alle metingen uit de periode 1984 tot 1993 zal voor alle eerste orde punten een absolute zwaartekrachtwaarde worden berekend. Deze waarden vormen het Nederlands zwaartekracht datum 1993 (NEDZWA93). Dit datum heeft als hoofddoel om als aansluiting voor het tweede orde net te worden gebruikt. Dit wordt behandeld in het vijfde hoofdstuk.

Tenslotte zal de visie van de auteur worden gegeven over de toekomst met daarbij een mogelijk samenvoegen van de twee eerste orde netten van de TUD en RWS. Het is niet logisch om twee netten naast elkaar te onderhouden. Er zal moeten worden gekeken naar de verschillende doeleinden en wensen van de TUD en RWS betreffende zo'n net. Daarbij moet ook worden gekeken naar het voldoen door de huidige punten aan deze wensen en eisen. Hierop volgend is het wellicht mogelijk één eerste orde net voor Nederland te construeren dat voor meerdere decennia aan de wensen zal voldoen.

Alle waarden die in dit verslag worden gegeven, in de tekst en in tabellen, en die zwaartekrachtgrootheden betreffen, zijn gegeven in mgal ($1 \text{ mgal} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ms}^{-2}$).

Gebruikte software en kenmerken van de berekening

De vereffening wordt uitgevoerd volgens het kleinste kwadraten principe, waarbij de som van de gewogen kwadraten van de correcties wordt geminimaliseerd. De waarnemingen die worden gebruikt zijn verschilmetingen tussen twee opeenvolgende punten. Bovendien dienen deze waarnemingen op één dag te zijn gemeten. Daarnaast kunnen waarden van bekende punten als waarneming worden ingevoerd. De berekening levert absolute zwaartekrachtwaarden voor alle punten gebaseerd op de ingevoerde bekende waarden. De berekening geeft indien gewenst ook een correctie van de instrument schaalfactor. De standaardafwijking van een verschilwaarneming is gebaseerd op twee parameters voor het instrument σ_1 en σ_2 . De eerste parameter σ_1 geeft de standaardafwijking van een enkele aflezing op één punt aan, σ_2 geeft de meetruis die er is bij een verschilmeting over een tijdsverschil van 1 uur. De totale standaardafwijking van een meting wordt berekend uit deze twee parameters en het tijdsverschil tussen de twee aflezingen.

Bij de vereffening wordt ook een toetsing op de afzonderlijke waarnemingen (w-toets, data-snooping) en een toets op het (statistische) model (F-toets) uitgevoerd.

Zodoende wordt ook een schatting verkregen voor de variantie. Deze variantie geldt voor een verschilmeting over een tijdverschil van 1 uur. Verder worden betrouwbaarheidsmaten uitgerekend voor zowel de waarnemingen (interne betrouwbaarheid) als de resultaten (externe betrouwbaarheid). Voor een beschrijving van de toegepaste methoden leest men (Strang van Hees, 1985). De betrouwbaarheid wordt in eerste instantie beschreven door de zogenaamde grenswaarde (aangegeven met ∇). Dit is voor de waarnemingen de fout die zou worden gevonden met een kans van 80% (interne betrouwbaarheid). Voor de onbekenden is dit het maximale effect dat wordt veroorzaakt door een fout ter grootte van de grenswaarde in één van de waarnemingen (externe betrouwbaarheid). Een tweede maat van betrouwbaarheid wordt ook nog gegeven voor de waarnemingen. Deze meer abstracte, maar wel gemakkelijk te gebruiken maat die een waarde heeft tussen 0 en 1 geeft aan hoe goed een waarneming wordt gecontroleerd (het lokaal overtaligheidsgetal). Als de waarde groter is dan 0.7 dan is die controle goed genoeg.

Er is een uitgebreid softwarepakket samengesteld waarmee de volledige verwerking wordt uitgevoerd. De drie hoofdprogramma's hebben als belangrijkste taken het middelen van de waarnemingen op één punt en het aanbrengen van instrumentele correcties, het combineren van zwaartekrachtinformatie en stationsinformatie en aanbrengen van getijdencorrecties, en het uitvoeren van de vereffening en toetsing. Verder zijn nog enkele hulpprogramma's beschikbaar die vooral voor tweede orde metingen worden gebruikt. Bijlage B geeft het mathematisch model dat gebruikt is bij de vereffening.

Het statistisch model is niet zo eenvoudig op te stellen in het geval van gravimetrie. Dit model hangt normaal gesproken sterk af van de instrument specificaties. In het geval van een LCR gravimeter is dat niet zo eenvoudig. Elk instrument heeft zo zijn eigen gedrag en vaak ook verandering van gedrag in de tijd. Voor het meest extreme geval kan men het instrumentgedrag, en daarmee het statistisch model, alleen bepalen uit de metingen zelf. Dit is een onprettige situatie. Van instrumenten waarmee vaker is gemeten is ongeveer bekend hoe de standaardafwijking van een enkele aflezing op een punt en de standaardafwijking van twee aflezingen met een tijdverschil van één uur is. Deze twee parameters vormen samen het statistisch model. Deze parameters hangen echter niet alleen af van het instrument zelf, maar ook van de waarnemers, de ervaringen van de waarnemers en het vervoermiddel dat wordt gebruikt. En verder nog van bijvoorbeeld de weersomstandigheden, de lokale situatie (drukke verkeer), microseismiek, etc. De bepaling van de uiteindelijke standaardafwijking voor een instrument is zo gedaan dat er geen uitschieters meer voorkomen in de w-toetswaarden. Nadat de waarnemingen die met een uitschieterende w-toetswaarden zijn aangewezen weg zijn gelaten is uit de resterende metingen een schatting voor de standaardafwijking bepaald. Deze is vervolgens vast gehouden voor dit instrument. Bij de verwerking van de verschillende netwerken zal worden

teruggekomen op de gebruikte standaardafwijkingen.

De w-toets waarden die worden toegestaan bij de eerste orde berekeningen zijn maximaal 3.00, wat overeenkomt met een waarschijnlijkheidsparameter $\alpha \approx 0.003$. De betrouwbaarheidsdrempel β is gelijk aan 80% gekozen. Met de hier toegepaste meetmethode en meetopzet en het gebruikte instrumentarium is het over het algemeen mogelijk een standaardafwijking van 0.010 tot 0.015 mgal te bereiken voor de berekende zwaartekrachtwaarden van het netwerk. De maximale correcties aan de waarnemingen die optreden bij een netwerk met een uiteindelijke standaardafwijking van 0.010 mgal zijn ongeveer 0.030 mgal voor een zwaartekrachtverschilmeting. Als vergelijking wordt opgemerkt dat voor tweede orde metingen maximale correcties tot 0.100 mgal worden toegestaan voor een verschilmeting waar de afstanden tussen de punten en dus de reistijden veel korter zijn.

2 TUD netwerk

Stations

Het TUD netwerk bestaat uit 25 punten op stations van de Nederlandse Spoorwegen (behalve de punten in Delft en Gasselte). In figuur 2.1 wordt de plaats van deze punten gegeven.



Figuur 2.1: *Stations van het TUD netwerk.*

De meetpunten zijn vastgelegd middels rode verf en er zijn aanmeetschetsen van gemaakt. De punten liggen meestal in een rustige hoek van de stationshal waarbij op de muren die de hoek vormen een rode streep is aangebracht. De punten zelf zijn niet fysiek vastgelegd middels bijvoorbeeld een spijker of bout of peilmerk. Indien

gewenst kunnen meerdere instrumenten tegelijk naast elkaar worden opgesteld. De punten zijn dus niet goed beschermd. Invloeden van buitenaf, door de NS of door andere personen, kunnen het punt verstoren of zelfs vernietigen. Dit is voorgekomen door verbouwingen van de stationsruimten (Assen en Zwolle). Ook tijdelijke opstellingen kunnen de bereikbaarheid van een punt belemmeren (Breda, 1993). Verder kan een punt minder geschikt raken door een aanpassing van een stationsgebouw, zo ligt het punt op station Maastricht nu vlak voor één van de loketten, en het punt in Leeuwarden onder een zitbank. De ervaring tot nu toe is dat een dramatische wijziging van een punt niet vaak voorkomt. Wel wordt gemerkt dat de NS de laatste jaren meer activiteiten ontplooid op het gebied van het opfrissen en aanpassen van de stationsgebouwen. Uit de informatie via de media mag worden geconcludeerd dat dit zal toenemen de komende jaren. Om te voorkomen dat dit grote problemen gaat opleveren voor het TUD net kan worden getracht via een contactpersoon bij de NS voortijdig te weten te komen waar een verbouwing gepland is, zodat het punt kan worden aangemeten naar excentrische punten en later weer worden hersteld. Een andere mogelijkheid is alle TUD punten door middel van excentrische punten te verzekeren.

Voor- en nadelen van TUD punten

Als nadeel van de TUD stationspunten kan worden opgemerkt de onzekerheid van het langdurig blijven bestaan van deze punten. Dit kan een belangrijk nadeel zijn van deze punten, wanneer men hieruit een zwaartekrachtverandering over een periode van meerdere decennia zou willen waarnemen. Om dit nadeel op te lossen zou voor ieder punt een excentrische vastlegging met 2 of 3 excentrische punten moeten worden gemaakt. Als voordelen kunnen worden genoemd het bereikbaar zijn per trein en de mogelijkheid om meerdere gravimeters tegelijk te kunnen opstellen. Het vervoer per trein lijkt een geschiktere keuze voor het instrumentgedrag dan het vervoer per auto. De ervaring van de waarnemers van de TUD is dat er minder significante schokken en trillingen optreden die het veergedrag beïnvloeden. Deze schokken zijn eigenlijk de grootste foutenbron als het heel preciese metingen betreft. Een ander voordeel van de TUD stationspunten is dat door één persoon in 5-7 dagen het gehele TUD netwerk kan worden gemeten, wat met een auto nooit haalbaar zou zijn. Het is dus goedkoper en sneller.

Als met meerdere gravimeters tegelijk een netwerk wordt opgemeten, om zodoende een betere precisie en vooral betrouwbaarheid te behalen, is het natuurlijk prettig dat de metingen tegelijkertijd kunnen worden uitgevoerd. De metingen duren per instrument ongeveer 10-20 minuten, dus als met vier instrumenten wordt gemeten wordt een aanzienlijke tijdwinst behaald, hetgeen ook nog eens een voordeel is voor de kwaliteit van de metingen. De punten op NS stations liggen allemaal binnen waardoor een droog en redelijk windvrije meetplaats gegarandeerd is hetgeen van

belang is voor de kwaliteit van de metingen. Men kan zich verder voorstellen dat door rijdende treinen sterke trillingen optreden. Dit is inderdaad soms het geval, maar uit ervaring blijkt dat er voldoende trillingsvrije perioden zijn om goede metingen te kunnen verrichten. Een laatste, belangrijk voordeel is dat de gebouwen ook 's avonds toegankelijk zijn.

Meetopzet en metingen

Er is (tot nu toe) niet met een vaste meetopzet gewerkt. Over het algemeen wordt in 5 tot 7 werkdagen het gehele net gemeten, waarbij op ieder punt 2 à 3 keer wordt gemeten. Het net is vanaf 1984 bijna ieder jaar gemeten met de LCR G785 van de TUD. Niet ieder jaar was het mogelijk om alle punten te meten. Bovendien is het punt in Delft veel vaker gemeten dan andere punten. Daarnaast zijn ook wel eens extra punten gemeten uit een oud TUD netwerk. Deze punten horen niet bij het eerste orde net van de TUD, maar hebben wel invloed op de resultaten van de stationspunten wanneer er meer dan één keer is gemeten. Bij een paar stations (bijvoorbeeld Assen en Zwolle) hebben verbouwingen plaats gehad waardoor het plaatselijke punt verdwenen is en niet hersteld kon worden. Een nieuw punt is daarom hier gekozen in de buurt van het oude punt. Voor beide punten is één meetreeks aangehouden.

Tabel 2.1 laat zien wanneer metingen zijn uitgevoerd en met welk instrument. De verschillende lettercodes aan het eind na het instrumentnummer geven aan voor welke periode een vaste schaalfactor en driftparameter voor een instrument zijn aangehouden.

Het aantal verschilmetingen dat is uitgevoerd is voor de zes perioden respectievelijk 174, 140, 69, 77, 66 en 70, waarmee steeds ongeveer 28 stationswaarden zijn bepaald. In totaal zijn er 770 waarnemingen gedaan, die 625 verschilmetingen opleveren voor 30 stationswaarden.

periode	begin	eind	instrument code
86	12-6-84	3-7-84	258
	22-10-85	28-10-85	785a
	20-12-85	23-12-85	785a
	21-1-86	30-1-86	785a
	20-3-86	17-5-86	785b
	28-8-86	4-9-86	785c
	15-10-86	5-11-86	785d
87	12-3-87	7-7-87	785e
	17-11-87	8-12-87	785f
	17-11-87	20-11-87	754
88	30-5-88	25-6-88	785g
90	2-2-89	2-2-89	785h
	6-4-89	6-4-89	785h
	15-6-89	15-6-89	785h
	16-2-90	20-2-90	785h
	9-5-90	9-5-90	785h
	25-7-90	31-7-90	785i
	20-12-90	20-12-90	785i
	14-1-91	14-1-91	785i
29-1-91	31-1-91	785i	
91	11-3-91	11-3-91	785n
	11-3-91	11-3-91	971a
	19-6-91	25-6-91	785j
92	6-7-92	14-7-92	785m
	6-7-92	14-7-92	59a
	12-1-93	12-1-93	971b
	28-1-93	28-1-93	971b

Tabel 2.1: Meetperiodes en gebruikte instrumenten voor TUD net.

Berekeningen en resultaten

Er vanuit gaand dat er geen waarneembare veranderingen hebben plaats gevonden op de meetstations wordt een grote vereffening uitgevoerd met alle waarnemingen die zijn gedaan vanaf 1984. Daarbij zitten ook wat metingen met twee andere instrumenten dan de G785 die geleend zijn uit Duitsland. Daarmee zijn slechts weinig waarnemingen gedaan. De resultaten van deze grote vereffening zijn in principe het TUD eerste orde net. Daarna zal van alle jaren apart de resultaten worden berekend. Dan kunnen deze waarden worden vergeleken met hun gemiddelde en met het totale resultaat. De verschillen die hier optreden geven een goede indicatie over welke precisie haalbaar is met één instrument. Wanneer er een verandering van een

Instrument	Schaalfactor	σ_1	σ_2
G785	1.02200	0.006	0.010
G254	1.02640	0.006	0.015
G971	1.01171	0.008	0.020

Tabel 2.2: *Instrumentgegevens TUD netwerk.*

Station	Zwaartekracht	σ
Delft	981240.717	0.000

Tabel 2.3: *Bekende punten TUD netwerk.*

stationswaarde is opgetreden die groter is dan de precisie van de metingen, dan zal dit moeten blijken uit de verschilwaarden.

De instrumentparameters die zijn gebruikt zijn gegeven in tabel 2.2. Als bekend punt is het punt in Delft gekozen, zie tabel 2.3. Dit punt komt in vrijwel elk deelnet voor. De waarde van dit punt is niet bepaald door een absolute zwaartekrachtmeting, maar is via een omweg gebaseerd op absolute metingen in Duitsland. Er moet dan ook niet al te veel waarde aan de absolute waarden van de resultaten worden gehecht. Hierop zal later worden terug gekomen in hoofdstuk 5. Het gebruik van deze waarde is verder niet van belang, er is echter minstens één bekend punt nodig om het net aan op te hangen, of in andere bewoordingen, om het rangdefect op te heffen.

In sommige jaren is het netwerk niet in een week gemeten, maar zijn verschillende delen door het jaar heen gemeten. Uiteindelijk is de totale dataset voor de berekening opgedeeld in 6 delen (zie tabel 2.1). In tabel 2.4 staan de resultaten van het TUD netwerk. De gegevens in tabel 2.4 geven de volgende informatie:

- Op basis van de instrumentgegevens en het bekende punt is voor elk van de 6 perioden voor ieder punt een zwaartekrachtwaarde uitgerekend. Het gemiddelde daarvan is bepaald en toen is voor elk van de 6 waarden het verschil met het gemiddelde bepaald. Toen is per periode het gemiddelde verschil bepaald en het bekende punt (Delft) is daarvoor gecorrigeerd. Daarna zijn opnieuw de berekeningen uitgevoerd, het gemiddelde voor elk station bepaald en daaruit zijn de rms-waarden bepaald ($\text{rms} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}}$). Deze gegevens zijn in de tabel geplaatst.
- Onder het verschil met het gemiddelde staat de formele standaard afwijking geplaatst.
- De rms-waarde is een spreidingsmaat voor de 6 waarden die voor elk station zijn bepaald. Men kan zien dat deze rms-waarden een typische waarde van 0.006-0.010 mgal hebben.

- Als er 6 bepalingen zijn gedaan met een standaardafwijking van 0.006 respectievelijk 0.010 mgal dan is de precisie van de gemiddelde waarde 0.002 en 0.004 mgal.
- De maximale verschillen die worden gevonden voor de jaarlijkse bepaling ten opzichte van het gemiddelde zijn ongeveer ± 0.017 mgal.
- De rms-waarden die zijn bepaald komen over het algemeen redelijk overeen met de formele standaardafwijkingen die zijn berekend per periode. Voor sommige gevallen komen ze wat gunstiger uit.
- In de laatste kolom staan de resultaten van de berekening waarbij alle metingen van 6 perioden bij elkaar zijn gestopt en één oplossing geven. Daaronder staat de standaardafwijking van deze totaalberekening. De verschillen tussen de gemiddelde waarden en deze totaalwaarden zijn klein (enkele 0.001 mgal) en worden veroorzaakt door een andere gewichtenverdeling bij de berekening van de 'gemiddelde' waarde.
- In de tijdreeksen voor elk van de punten is geen trend beweging te vinden.

Nogmaals wordt opgemerkt dat men geen waarde hecht aan de absolute zwaartekrachtwaarden die in deze tabel staan. In hoofdstuk 5 zal nog een beschouwing over de schaalfactoren van de instrumenten en de kwaliteit van de bekende punten worden gegeven, alvorens tot uiteindelijke resultaten wordt overgegaan. De invloed kan groot zijn doordat de waarde van Delft niet goed bekend is.

Verdere informatie over de kwaliteit van de resultaten, naast de standaardafwijkingen die in tabel 2.4 zijn gegeven, betreft de betrouwbaarheid. De interne betrouwbaarheid (grenswaarde) van waarnemingen heeft voor elk van de zes jaargangen typische waarden tussen 0.030 en 0.050 mgal. Voor de onbekenden is dat 0.010-0.030 mgal met maximale waarden tot 0.060 mgal. De typische waarden van het lokaal overtaligheidsgetal van de waarnemingen is voor de jaren 1986 en 1987 0.8 en voor de overige vier jaren 0.3-0.6.

Voor het samengevoegde netwerk vindt men grenswaarden voor de waarnemingen van 0.020-0.035 mgal, voor de zwaartekrachtwaarden van 0.003-0.004 mgal en voor het lokaal overtaligheidsgetal van de waarnemingen ≥ 0.9 . De maximale correcties die aan de verschilwaarnemingen worden gegeven zijn 0.030 mgal.

Eerste orde zwaartekrachtnet van Nederland en NEDZWA93

Station	86	87	88	90	91	92	rms	gemiddeld	totaal
Leeuwarden NS	.010	.008	.005	.002	-.011	-.012	.009	981336.722	981336.722
	.008	.013	.012	.013	.012	.011			.004
Heerenveen NS	-.007	.003	.002	.002	.004	-.006	.004	981332.082	981332.079
	.008	.010	.011	.013	.011	.010			.004
Groningen NS	-.008	.002	.007			-.001	.005	981330.878	981330.878
	.007	.017	.011			.011			.004
Assen NS	.003	.013		.019	-.025	-.012	.016	981317.962	981317.966
	.008	.013		.010	.011	.010			.004
Gasselte NH	-.008		.004	.004			.006	981313.908	981313.908
	.009		.011	.011					.004
Zwolle NS	.002	.004	.009	-.004	-.003	-.007	.005	981289.859	981289.860
	.006	.008	.010	.010	.008	.007			.003
Utrecht NS	-.001	.001	-.002	.001	.003	-.003	.002	981250.880	981250.880
	.005	.006	.009	.005	.006	.005			.002
Amersfoort NS		.007	.005	.000	-.005	-.008	.006	981259.113	981259.113
		.007	.009	.007	.007	.006			.003
Den Helder NS	-.008		-.010	-.002	.003	.017	.010	981324.183	981324.181
	.006		.013	.010	.011	.011			.004
Alkmaar NS	.000		-.003	-.003	.002	.002	.002	981295.169	981295.170
	.006		.012	.007	.008	.009			.003
Haarlem NS	-.003	.003	-.003	-.003	.010	-.002	.005	981277.137	981277.138
	.005	.006	.010	.005	.006	.006			.002
Den Haag-pos NS	.007	.001	-.004	-.005	.002		.004	981248.039	981248.038
	.005	.007	.009	.004	.005				.002
Den Haag-hal NS	.008	.010	.005	-.003	-.009	-.013	.009	981248.121	981248.123
	.005	.004	.009	.007	.005	.005			.002
Delft GEO1-BIN	.006	-.003	-.007	.005	.001	-.004	.005	981240.717	981240.717
	.000	.000	.000	.000	.000	.000			.000

vervolg →

Tabel 2.4: *Resultaten TUD netwerk 1984-1992; de bovenste lijn geeft het verschil t.o.v. het gemiddelde, de onderste de standaardafwijking uit de berekening.*

vervolg tabel 2.4

Station	86	87	88	90	91	92	rms	gemiddeld	totaal
Delft GEO2-BUI		.002	.006	-.009	-.002	.002	.005	981241.010	981241.012
		.002	.010	.006	.007	.003			.002
Hengelo NS	-.002	-.015	-.001	.004	.005	.011	.008	981270.318	981270.322
	.010	.010	.011	.007	.011	.009			.004
Enschede NS	.014	-.006	.000	.002	-.010	-.002	.008	981262.638	981262.639
	.011	.012	.011	.010	.012	.011			.005
Apeldoorn NS	.004	.007	.007	-.003	-.003	-.010	.006	981259.383	981259.383
	.007	.009	.009	.007	.008	.007			.003
Zutphen NS	.010	-.007	.013	-.014	-.007	.006	.010	981261.237	981261.242
	.007	.011	.010	.008	.010	.008			.003
Den Bosch NS	-.010	.002	-.010	-.005	.007	.015	.009	981198.802	981198.798
	.005	.008	.009	.007	.007	.007			.003
Breda NS	-.003	.003	-.003	-.002	.000	.003	.003	981203.797	981203.796
	.005	.006	.009	.005	.007	.006			.002
Goes NS	-.012	.000	.000	.005	-.002	.007	.006	981206.823	981206.822
	.009	.008	.010	.008	.010	.008			.004
Middelburg NS	-.017	-.007	.003	.011	.001	.011	.010	981204.675	981204.675
	.011	.008	.011	.009	.011	.010			.004
Eindhoven NS	.000	.002	-.007	.001	.010	-.006	.006	981166.760	981166.761
	.006	.010	.011	.009	.008	.007			.003
Maastricht NS	.016	-.008	-.016	.004	.009	-.004	.011	981126.559	981126.562
	.007	.013	.013	.010	.011	.010			.004
Heerlen NS	.008	-.008	-.011	.006	.004	.002	.007	981118.952	981118.956
	.006	.014	.013	.012	.011	.011			.004

Conclusies

De resultaten van de metingen die zijn gedaan door de TUD vanaf 1984 tot 1992 op de stations van de NS zien er bijzonder goed uit. Van te voren zou men niet verwachten dat metingen met één instrument zo'n goede herhaalbaarheid zouden opleveren. De redenen hiervoor dienen te worden gezocht in enerzijds de kwaliteit en het gedrag van het instrument (G785) en anderzijds het transport per trein. Wat het eerste betreft blijkt dat de schaalfactor van G785 niet merkbaar gewijzigd is in de genoemde periode en dat de ervaring van de waarnemers ook is dat het instrument

prettig in het gebruik is. Hierbij moet ook niet onvermeld blijven dat de ervaring van de waarnemers met juist dit instrument waarschijnlijk ook een positieve invloed heeft.

Wat het vervoer per trein betreft kan worden opgemerkt dat uit de waarnemingsreeksen blijkt dat er weinig sprongen in het veergedrag zijn opgetreden tijdens het vervoer. Uit meetreeksen die per auto zijn verricht blijkt dit effect groter te zijn. Juist voor eerste orde metingen is dit gedrag van de veer, dat wordt veroorzaakt door trillingen in allerlei frequentiegebieden (waaronder ook schokken), de cruciale foutenbron.

De betrouwbaarheidswaarden die zijn genoemd zijn niet eenvoudig onderling vergelijkbaar. In de vereffeningsprogrammatuur wordt namelijk uit de waarnemingen zelf een variantieschatting gedaan die wordt gebruikt voor de berekening van toetsgrootheden en precisie en betrouwbaarheidswaarden. Dit is een niet aan te bevelen situatie, maar voor het onderhavige geval van gravimetrie is een andere mogelijkheid niet voor handen. De spreiding van de waarnemingen is afhankelijk van veel factoren die niet a priori kunnen worden gemodelleerd. Ze kunnen alleen uit de waarnemingen zelf worden bepaald. Daarom is het voor de betrouwbaarheid van de waarnemingen niet alleen een indicatie van de kwaliteit van de netwerk opzet en daarom is het moeilijk een vergelijking uit te voeren. De externe betrouwbaarheid middels de grenswaarde geeft een indruk hoe groot een enkele fout maximaal kan doorwerken, gegeven de netwerkopzet en de bereikte kwaliteit van de metingen.

Uit de vergelijking van de lokale overtaligheidsgetallen voor de 6 TUD deelnetten blijkt dat de netten van de jaren 1986 en 1987 een betere interne controle hebben. Dit is ook te verwachten, want er zijn in die 2 jaar meer waarnemingen gedaan dan de 4 jaren daarna. Dit betekent wel dat de waarden die in 1 jaar worden bepaald niet erg betrouwbaar zijn. Wanneer de zwaartekrachtwaarden constant mogen worden gedacht over enkele jaren, dan geeft de combinatie van enkele jaren metingen wel betrouwbare resultaten.

De verschillen ten opzichte van een gemiddelde waarde voor de 6 perioden laat zien dat voor geen enkel station grote trendmatige veranderingen van de zwaartekrachtwaarden zich voordoen. Alleen in Leeuwarden en Den Haag Hal is een trend te zien, maar deze heeft een amplitude die niet significant is als men die vergelijkt met de standaardafwijking. Bovendien dient men wel te bedenken dat een enkele bepaling niet erg betrouwbaar is, zoals hierboven al is genoemd.

3 RWS netwerk

Stations

Het RWS netwerk bestaat uit 20 punten op Ondergrondse Merken (OM), een punt bij de Faculteit der Geodesie van de TU Delft, een punt op de RD basis Loenermark en 6 punten in Duitsland van het eerste orde net en 3 punten in België. In figuur 3.1 wordt de plaats van deze punten gegeven. In deze figuur staan slechts 3 punten in Duitsland, omdat steeds 2 punten heel dicht bij elkaar liggen, die samen als 1 punt kunnen worden beschouwd. Als punt geldt een metalen boutje dat ook als hoogtepeilmerk wordt gebruikt. De punten zijn dus goed vastgelegd en tegelijk ook goed beschermd tegen allerlei externe invloeden doordat ze zich in een afgesloten put bevinden. Bovendien mag worden aangenomen dat er geen lokale hoogteveranderingen van het punt zullen plaatsvinden.

De OM bevinden zich dus in een put, waardoor het peilmerk zelf zich een kleine meter onder het maaiveld bevindt. Voor gravimetrie toepassingen kan een bijbehorende meetschaal of meettafel met statief op de pijler van het OM worden geplaatst, waarop vervolgens de gravimeter kan worden neergezet. De gravimeter koffer met daarin de accu blijft naast de put op maaiveldhoogte staan. De waarnemer moet op zijn of haar buik gaan liggen om het instrument te kunnen bedienen en aflezen.

Excentrische stations

Bij ieder van de 20 hoofdpunten van het RWS net zijn 3 of soms 4 excentrische punten gemeten. De bedoeling daarvan is om als er een verstoring van het hoofdpunt heeft plaats gehad door enigerlei oorzaak, de oorspronkelijke waarde kan worden hersteld uit de excentrische punten. Deze punten liggen over het algemeen op maximaal enkele kilometers van het hoofdpunt. Ze zijn gelegen bij een hoogtepeilmerk in een kerk of ander gebouw dat vermoedelijk voor langere tijd in stand blijft, en tevens zijn enkele NS-stationspunten uit het TUD net als excentrische punten gekozen. De punten zijn niet speciaal vastgelegd als zwaartekrachtpunt, maar gerelateerd aan het hoogtepeilmerk.



Figuur 3.1: Stations van het RWS netwerk, een vierkantje is een TUD punt, een driehoekje een RWS punt en een sterretje is een punt in het buitenland.

Voor- en nadelen van RWS-punten

Een belangrijk voordeel van de OM is dat ze voor vele decennia beschermd zijn en beschikbaar zullen blijven aan RWS. Daardoor is het mogelijk een zwaartekracht-historie voor deze punten op te bouwen. Aangezien de putten van de OM meestal niet midden in de stad liggen zijn ze redelijk goed bereikbaar met de auto, maar absoluut niet met de trein.

Het meten op de OM is niet erg praktisch. De situatie voor de waarnemer is niet ideaal, zeker bij slechte weersomstandigheden kan men er van uit gaan dat de dalende moraal van de waarnemer de kwaliteit van de metingen niet zal bevorderen. Ook is de situatie beneden het maaiveld niet gunstig om het instrument te bedienen en een goede aflezing te kunnen verrichten. Bij slechte weersomstandigheden staat het instrument bovendien bloot daaraan, zodat eigenlijk geen metingen van hoge kwaliteit kunnen worden verricht. Het OM Wieringen staat bovendien regelmatig vol met water.

Een ander nadeel van de OM is dat slechts één instrument tegelijkertijd kan wor-

den opgesteld. Wil men het net simultaan met drie instrumenten meten dan zal de waarnemingstijd op een enkel punt bijna drie keer zo groot zijn als wanneer de instrumenten tegelijk kunnen worden opgesteld. Bovendien kunnen de punten, door de afsluitbare putdeksel, in de praktijk niet worden gebruikt door derden zoals particuliere bedrijven.

Tijdens de metingen is gebleken dat enkele OM die dicht bij een vaarweg of rijweg liggen daar zeer storende invloeden van kunnen ondervinden. Bij de opzet van het netwerk is als criterium ook aangehouden dat de punten niet dicht bij zulke stoorbronnen mochten liggen (Löwik, 1989), maar bij de daadwerkelijke opzet van het net is daar kennelijk niet aan vast gehouden. Met name de punten in Vlissingen, Zierikzee en Delden ondervinden storingen door het schutten van sluizen, terwijl de OM in Vught, Weert en Gasselte storende invloeden ondervinden van nabijgelegen wegen. Voor alle punten zijn de storingen dermate groot dat er niet goed gemeten kan worden.

Meetopzet en metingen

Het RWS net is twee keer gemeten. De meetopzet zoals die is gebruikt in 1987 is ook gebruikt in 1990. Deze bestaat uit een vast schema van metingen tussen de hoofdpunten. Dit zijn meestal driehoeken, waarbij wordt geëindigd op hetzelfde punt waar begonnen is. Deze metingen worden in principe met drie instrumenten uitgevoerd. Op de OM kan slechts één instrument tegelijk worden opgesteld zodat de metingen op het punt ongeveer een uur in beslag nemen. Het gehele net van hoofdpunten vraagt ongeveer drie weken om te worden gemeten. Daarna worden nog aansluitmetingen uitgevoerd tussen de hoofdpunten en drie excentrische punten in de buurt daarvan. Hierbij worden twee kringetjes gemeten waarbij alle excentrische punten twee keer worden bezocht. Deze metingen zijn met één instrument gedaan. Per dag worden één of twee hoofdpunten met excentrische punten gemeten, zodat hiervoor ook ongeveer 3 weken nodig zijn.

Tabel 3.1 laat zien wanneer is gemeten voor de RWS-metingen en met welke instrumenten. Het totaal aantal opstellingen in 1987 was ongeveer 478. Dit leverde 380 verschilmetingen op op 34 stations. In 1990 zijn weer ongeveer 500 metingen verricht, waarvan 310 bruikbare opstellingen zijn gebruikt, wat 239 verschilwaarnemingen geeft om 31 stationswaarden te bepalen. Zowel in 1987 als in 1990 zijn ongeveer 220 excentrische metingen uitgevoerd. Per hoofdpunt (20 stuks) is 2 keer op elk van de 3 of 4 excentrische punten gemeten.

Eerste orde zwaartekrachtmet van Nederland en NEDZWA93

Periode	begin	eind	instrument code
87	12-5-87	12-5-87	785k
	24-6-87	24-6-87	785k
	29-7-87	29-7-87	785k
	23-9-87	12-11-87	785k
	23-9-87	12-11-87	754b
	23-9-87	12-11-87	686a
87 exc	2-9-87	17-9-87	785k
	30-8-88	21-9-88	785l
90	18-9-90	1-11-90	785o
	20-9-90	1-11-90	587a
	2-10-90	1-11-90	754c
	11-12-90	14-12-90	785o
	11-12-90	14-12-90	587a
	11-12-90	14-12-90	867a
	11-12-91	18-12-91	785p
	11-12-91	18-12-91	971c
90 exc	6-5-91	11-6-91	971d

Tabel 3.1: Meetperioden en gebruikte instrumenten voor RWS net.

Berekeningen en resultaten

1987

De berekeningen zijn in eerste instantie uitgevoerd met de ijkfactoren voor de instrumenten gebaseerd op de gecorrigeerde schaalfactor van G785. Deze had namelijk een correctie van 0.00070 gekregen ten opzichte van de schaaltabel die door de leverancier werd meegeleverd. De genoemde correctie is gebaseerd op een Duitse ijkbasis waar met de G785 wel eens gemeten was. Het is bekend dat de meeste LaCoste-Romberg G-gravimeters een correctie van die orde van grootte kregen gebaseerd op Europese (Duitse) ijkbases.

In eerste instantie kregen de beide andere instrumenten ook een correctie van 0.00070 waarmee de waarden van RWS87 zijn bepaald zoals ze ook zijn opgenomen in OR-SNAP (het NAP database systeem van de Meetkundige Dienst/RWS) welke bovendien niet op de juiste hoogte zijn berekend. Ze zijn namelijk berekend op instrumenthoogte en niet op peilmerkhoogte. Op basis van argumenten die in hoofdstuk 5 zullen worden gegeven, zijn andere correcties voor de schaalfactoren bepaald waarmee de RWS87 metingen opnieuw zijn vereffend. In de netwerkopzet zijn 6 bekende punten opgenomen van het Deutsche Schweregrundnetz 1976 (DSGN76) (Sigl e.a., 1981; Boedecker en Richter, 1984; Boedecker en Richter, 1987). Als bekend punt is gebruikt Bentheim School voor de eerste fase vereffening. In de tweede fase zijn

Instrument	Schaalfactor	σ_1	σ_2
G785	1.02206	0.006	0.011
G686	1.02453	0.006	0.010
G754	1.02642	0.006	0.012

Tabel 3.2: *Instrumentgegevens RWS87 netwerk.*

Station	Zwaartekracht	σ
Aurich GEMHS	981357.250	0.010
Aurich KASTEEL	981357.369	0.010
Bentheim SCHOOL	981270.640	0.010
Bentheim KASTEEL	981267.321	0.010
Aken TU	981094.951	0.010
Aken Adalbertkerk	981097.127	0.010

Tabel 3.3: *Gebruikte bekende punten voor RWS87.*

alle 6 Duitse punten gebruikt, elk met een standaardafwijking van 0.010 mgal. De tabellen 3.2 en 3.3 geven de instrument informatie en gebruikte aansluitpunten. In tabel 3.4 staan de resultaten van het RWS87 netwerk. Dit zijn de resultaten van de 2e fase berekening. Uit deze tabel kan de volgende informatie worden gehaald:

- In de tabel staan de resultaten van elk der afzonderlijke instrumenten, de rms-waarde van deze drie resultaten ($\text{rms} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}}$), de gemiddelde waarde uit de drie afzonderlijke instrumenten, de waarde als alle metingen tegelijk worden vereffend, per berekening de standaardafwijking van de resultaten, en het aantal keren dat op een punt is gemeten.
- De rms-waarde uit de drie instrumenten heeft een typische waarde van ongeveer 0.006 mgal.
- De maximale verschillen ten opzichte van het gemiddelde zijn 0.014 mgal.
- De verschillen tussen het gemiddelde en de in één keer berekende totaaloplossing zijn één of enkele 0.001 mgal, doordat met ieder instrument ongeveer evenveel metingen zijn gedaan met eenzelfde precisie.
- Men moet niet teveel letten op de absolute waarden van de stations. Deze hangen af van de gebruikte aansluitwaarden. Hierop wordt verder ingegaan in hoofdstuk 5.
- Naast de zes bekende punten in Duitsland waren ook drie bekende punten in België, waarop ook is gemeten. De verschillen tussen de waarden uit RWS87 gebaseerd op de zes DSGN76 waarden en de gegeven Belgische waarden is

Eerste orde zwaartekrachtmet van Nederland en NEDZWA93

voor de punten in Blankenberge, Oud-Turnhout en Eben-Emaël respectievelijk -0.028, -0.027 en -0.018 mgal.

In hoofdstuk 5 zal een beschouwing over de schaalfactoren van de instrumenten en de kwaliteit van de bekende punten worden gegeven, alvorens tot uiteindelijke resultaten wordt overgegaan.

Verdere informatie over de kwaliteit van de resultaten, naast de standaardafwijkingen die in tabel 3.4 zijn gegeven, betreft de betrouwbaarheid. De interne betrouwbaarheid (grenswaarde) van waarnemingen heeft typische waarden tussen 0.020 en 0.035 mgal. Voor de onbekenden is dat 0.011 mgal. De typische waarden van het lokaal overvalligheidsgetal van de waarnemingen is ≥ 0.8 . De maximale correcties die aan de verschilwaarnemingen worden gegeven zijn 0.030 mgal.

Station	785k	686a	754b	rms	gemiddeld	87 helemaal
Delft GEO2-BUI	.006	-.007	.001	.005	981241.060	981241.058
	.007	.007	.008			.006
	12	8	8			28
Maastricht NS	.005	.002	-.006	.005	981126.596	981126.596
	.011	.009	.010			.007
	2	1	1			4
Loenerm.B.WEST	.010	-.013	.002	.010	981241.295	981241.293
	.007	.006	.007			.006
	10	10	10			30
Aken TU	.005	-.001	-.005	.004	981094.948	981094.947
	.006	.006	.007			.006
	2	2	2			6
Aken Adalbertkerk	.005	-.006	.002	.005	981097.128	981097.127
	.006	.006	.007			.006
	2	2	2			6
Blankenberge	-.004	-.009	.014	.010	981186.405	981186.403
	.011	.011	.012			.008
	1	1	1			3
Oud-Turnhout	.008	-.010	.001	.007	981182.289	981182.287
	.008	.008	.009			.006
	3	3	3			9
Eben-Emael	.004	.001	-.004	.003	981114.573	981114.573
	.008	.008	.009			.007
	2	2	2			6
Haarlem OM	-.002	.001	.001	.001	981276.731	981276.731
	.007	.007	.008			.006
	4	4	4			12
Oranjewoud OM	.006	-.009	.002	.006	981331.880	981331.879
	.007	.007	.007			.006
	12	8	12			32

vervolg →

Tabel 3.4: Resultaten RWS netwerk 1987 voor elk der instrumenten en de totaal berekening; de bovenste lijn geeft het verschil t.o.v. het gemiddelde, de middelste de standaardafwijking uit de berekening en de onderste het aantal metingen op het punt (totaal aantal metingen is resp. 174, 150 en 162).

Eerste orde zwaartekrachtnet van Nederland en NEDZWA93

vervolg tabel 3.4

Station	785k	686a	754b	rms	gemiddeld	87 helemaal
Vrouwenparochie OM	-.009	-.003	.012	.009	981343.752	981343.751
	.007	.008	.008			.006
	5	3	5			13
Wagenborgen OM	.000	-.001	.000	.000	981339.996	981339.995
	.007	.007	.007			.006
	5	4	5			14
Gasselte OM	.004	-.007	.003	.005	981314.721	981314.720
	.007	.008	.008			.006
	3	3	3			9
Wieringen OM	.012	-.008	-.003	.008	981319.553	981319.553
	.007	.007	.008			.006
	5	4	5			14
Lelystad OM	.011	-.007	-.004	.008	981286.873	981286.873
	.007	.007	.007			.006
	12	9	8			29
Sibculo OM	.007	-.005	-.001	.005	981283.688	981283.687
	.006	.006	.007			.005
	7	6	7			20
Delden OM	-.011	.004	.008	.008	981272.848	981272.848
	.007	.007	.007			.006
	3	3	3			9
Amersfoort OM	.014	-.008	-.006	.010	981251.951	981251.950
	.007	.007	.007			.006
	9	8	8			25
Malden OM	.010	-.011	.000	.009	981218.368	981218.366
	.007	.007	.008			.006
	5	5	6			16
Vught OM	-.002	.004	-.001	.003	981194.413	981194.414
	.007	.007	.008			.006
	7	7	8			22
Goudswaard OM	-.002	-.009	.010	.008	981224.155	981224.152
	.007	.008	.009			.006
	5	4	4			13

vervolg →

vervolg tabel 3.4

Station	785k	686a	754b	rms	gemiddeld	87 helemaal
Zierikzee OM	.005	-.010	.006	.007	981216.772	981216.770
	.008	.008	.009			.007
	8	7	8			23
Vlissingen OM	-.002	.003	-.001	.002	981198.699	981198.699
	.008	.009	.010			.007
	5	4	4			13
Nieuw-Namen OM	.002	-.002	.000	.002	981185.433	981185.433
	.008	.008	.009			.007
	6	6	7			19
Weert OM	-.001	-.001	.003	.002	981152.718	981152.718
	.007	.007	.008			.006
	10	10	10			30
Horst OM	.005	-.002	-.004	.004	981186.712	981186.711
	.007	.007	.008			.006
	4	4	4			12
St.Geertrui OM	.002	-.002	.001	.002	981111.928	981111.927
	.007	.006	.007			.006
	9	9	9			27
Bavel OM	.001	-.002	.000	.001	981198.959	981198.958
	.007	.007	.008			.006
	7	7	7			21
Aurich GEMHS	.002	-.001	-.001	.001	981357.251	981357.252
	.007	.007	.007			.006
	1	1	1			3
Aurich KASTEEL	.003	.007	-.011	.008	981357.374	981357.378
	.007	.007	.007			.006
	1	1	1			3
Bentheim SCHOOL	-.010	.002	.007	.007	981270.638	981270.637
	.006	.006	.006			.006
	2	2	2			6
Bentheim KASTEEL	-.007	-.001	.009	.007	981267.319	981267.318
	.006	.006	.006			.006
	2	2	2			6

1990

In 1990 is het RWS net opnieuw gemeten, ditmaal zijn andere instrumenten gebruikt dan in 1987. Bovendien is de uitvoering van de metingen op geheel andere wijze geschied. In 1987 hebben twee mensen het gehele project gemeten, in 1990 zijn enkele meetploegen van twee mensen in het project betrokken geweest. De meeste van deze waarnemers waren (in ieder geval toendertijd) onervaren in het verrichten van zwaartekrachtmetingen. Van de vier instrumenten die zijn gebruikt, zie tabel 3.5, is gebleken dat G587 een slecht gedrag vertoont. Bij de opstelling op een punt was het vrijwel onmogelijk een rustige en stabiele aflezing te verkrijgen, bovendien geeft het herhaald waarnemen op een enkel punt een zeer grote spreiding van resultaten. De oorzaak hiervan is niet bekend, waarbij moet worden opgemerkt dat ook niet voor het begin van de metingen een testprocedure en/of controle van het instrument heeft plaatsgevonden. Een grote afwijking in de afstelling van één der niveau's kan bijvoorbeeld dit gedrag veroorzaken. Maar ook andere redenen kunnen de oorzaak hiervan zijn. In ieder geval is bij de uiteindelijke berekening slechts een klein deel van de aflezingen met dit instrument gebruikt. Ook de waarnemingen met de overige instrumenten vertonen een foutgedrag dat niet mag worden verwacht. Van G785 is ongeveer 15% van de waarnemingen verworpen, van G867 en G754 ongeveer 50%. Uiteindelijk zijn van de vier instrumenten uit tabel 3.5 respectievelijk 102, 62, 10 en 55 waarnemingen gebruikt, waarbij G754 en G867 elkaar hebben aangevuld in het project. Een deel van de metingen die niet konden worden gebruikt zijn niet in de put maar naast de put van het OM verricht. Dit zijn de metingen die zijn verricht in december 1991 (zie tabel 3.1). Het betreft hier 6 punten waarvoor dus veel minder metingen beschikbaar zijn dan gepland. Er is hier sprake van organisatorische fouten.

Als bekend punt is gebruikt Bentheim School (eerste fase vereffening). In de tweede fase zijn alle 6 Duitse punten gebruikt, elk met een standaardafwijking van 0.010 mgal. De tabellen 3.5 en 3.6 geven de instrument informatie en gebruikte aansluitpunten.

Omdat de resultaten van RWS90 zo slecht zijn in verhouding met de overige projecten is een vergelijkbare analyse niet goed mogelijk. Het verschil bekijken tussen de drie gebruikte instrumenten bijvoorbeeld heeft weinig zin. Daarom wordt alleen een externe vergelijking gegeven van RWS90 met de waarden voor dezelfde punten uit

Instrument	Schaalfactor	σ_1	σ_2
G785	1.02206	0.006	0.013
G754	1.02642	0.006	0.015
G867	1.01363	0.006	0.015
G587	1.02495	0.006	0.025

Tabel 3.5: *Instrumentgegevens RWS90 netwerk.*

Station	Zwaartekracht	σ
Aurich GEMHS	981357.250	0.010
Aurich KASTEEL	981357.369	0.010
Bentheim SCHOOL	981270.640	0.010
Bentheim KASTEEL	981267.321	0.010
Aken TU	981094.951	0.010
Aken Adalbertkerk	981097.127	0.010

Tabel 3.6: Gebruikte bekende punten voor RWS90.

RWS87. Tabel 3.7 geeft voor elk van de RWS hoofdpunten deze verschillen met de standaardafwijkingen voor de beide bepaalde waarden, en de externe betrouwbaarheidsmaten voor de twee waarden, plus het aantal opstellingen dat in beide jaren is gedaan op elk van de punten. In de tabel 3.7 vallen onder andere de volgende dingen op:

- Het verschil op Wieringen OM is bijzonder groot (-0.105 mgal). Dit wordt verklaard doordat de metingen in 1990 niet in de put maar op de put zijn gedaan, omdat in de put water bleek te staan. De resultaten kunnen en mogen niet met elkaar vergeleken worden.
- Voor de punten Sibculo, Delden, Loenermark, Oranjewoud, Vrouwenparochie, Wagenborgen en Bentheim zijn veel minder waarnemingen beschikbaar in 1990 dan in 1987. Dit komt omdat een deel van de waarnemingen niet in maar naast de put is gedaan. Deze waarnemingen zijn niet met elkaar te combineren omdat de zwaartekrachtgradient niet bekend is. Deze gradient zal aanzienlijk afwijken van de vrije lucht gradient omdat het eigenlijke punt zich in de put onder maaiveldhoogte bevindt. Het is dus van belang dat juist op de OM het instrument altijd op dezelfde plaats (hoogte) wordt opgesteld.
- De verschillen zijn van een maximale grootte van -0.040 tot +0.030 mgal.
- De verschillen zijn over het algemeen redelijk in overeenstemming met de standaard afwijkingen, alhoewel de hoeveelheid grote verschillen vrij groot is.
- Het bruikbare aantal metingen en de kwaliteit daarvan is in 1990 veel minder dan in 1987, waardoor de kwaliteit van het eindresultaat veel minder goed is.

Verdere informatie over de kwaliteit van de resultaten, naast de standaardafwijkingen die in tabel 3.7 zijn gegeven, betreft de betrouwbaarheid. De interne betrouwbaarheid (grenswaarde ∇) van waarnemingen heeft typische waarden van 0.060 mgal voor G785 en G754/G867 en 0.120 mgal voor G587. De typische waarden van het lokaal overtaligheidsgetal (l.o.g.) van de waarnemingen is $0.6 \leq \text{l.o.g.} \leq 0.8$. De overtaligheid laat dus te wensen over. De maximale correcties die aan de verschillen worden gegeven zijn 0.100 mgal.

Eerste orde zwaartekrachtmet net van Nederland en NEDZWA93

Station	1987-1990	σ_{87}	σ_{90}	$\nabla 87$	$\nabla 90$	aantal 87	aantal 90
Delft GEO2-BUI	-.020	.006	.010	.007	.010	28	16
Loenerm.B.WEST	-.019	.006	.011	.007	.010	30	16
Aken TU	.008	.006	.008	.012	.023	6	6
Aken Adalbertkerk	-.003	.006	.008	.012	.022	6	6
Blankenberge	-.014	.008	.013	.008	.011	3	6
Oud-Turnhout	-.001	.006	.011	.007	.012	9	9
Eben-Emael	.014	.007	.009	.009	.018	6	12
Haarlem OM	.000	.006	.011	.007	.010	12	7
Oranjewoud OM	-.038	.006	.010	.007	.015	32	18
Vrouwenparochie OM	-.036	.006	.011	.007	.016	13	7
Wagenborgen OM	.002	.006	.010	.007	.015	14	6
Gasselte OM	-.045	.006	.010	.007	.013	9	5
Wieringen OM	-.105	.006	.011	.007	.015	14	6
Lelystad OM	-.002	.006	.010	.007	.010	29	17
Sibculo OM	.002	.005	.009	.008	.013	20	10
Delden OM	.030	.006	.011	.008	.018	9	2
Amersfoort OM	.006	.006	.010	.007	.010	25	20
Malden OM	.006	.006	.010	.007	.011	16	11
Vught OM	.006	.006	.010	.007	.012	22	10
Goudswaard OM	-.018	.006	.012	.007	.011	13	6
Zierikzee OM	-.019	.007	.012	.007	.011	23	13
Viissingen OM	-.018	.007	.012	.007	.011	13	15
Nieuw-Namen OM	-.004	.007	.012	.007	.012	19	15
Weert OM	.018	.006	.010	.008	.013	30	18
Horst OM	.005	.006	.015	.008	.035	12	2
St.Geertrui OM	.010	.006	.009	.009	.016	27	18
Bavel OM	-.011	.006	.011	.007	.011	21	23
Aurich GEMHS	.002	.006	.008	.014	.026	3	3
Aurich KASTEEL	.003	.006	.008	.014	.025	3	2
Bentheim SCHOOL	-.004	.006	.008	.010	.023	6	2
Bentheim KASTEEL	-.003	.006	.008	.010	.025	6	3

Tabel 3.7: Resultaten RWS netwerk 1987 en 1990.

Excentrische punten

Zoals al eerder gezegd zijn de excentrische metingen zowel in 1987 als in 1990 met slechts één instrument uitgevoerd. De instrument gegevens wordt gegeven in tabel 3.8. Het instrument dat in 1990 is gebruikt, de G971, was toen net nieuw aangekomen in Nederland en vertoonde nog een onrustig gedrag en instabiele afleesresultaten. Het is bekend van gravimeters dat ze in hun jonge jaren een wat wispelturig gedrag kunnen vertonen. Een duidelijke verklaring hiervoor is niet bekend. Het heeft natuurlijk wel zijn weerklank gehad in de kwaliteit van de excentrische aansluitmetingen in 1990.

Voor de berekening van de waarden van de excentrische stations is de waarde van de hoofdpunten gebruikt uit de RWS87 berekening. Tabel 3.9 geeft de resultaatverschillen van de beide keren dat de excentrische punten zijn gemeten. Ze zijn daarbij gerangschikt per hoofdpunt.

Jaar	Instrument	Schaalfactor	σ_1	σ_2
1987	G785	1.02200	0.006	0.010
1990	G971	1.01171	0.008	0.020

Tabel 3.8: *Instrumentgegevens excentrische metingen RWS.*

Eerste orde zwaartekrachtmetingen van Nederland en NEDZWA93

	Station	samen		σ		∇			aantal			
		-1987	-1990	87	90	samen	87	90	samen	87	90	samen
85	Delft GEO1-BIN	.008	.004	.006	.007	.005	.024	.018	.012	1	2	3
83	Delft TU pijler	.002	.002	.006	.008	.006	.014	.013	.008	2	2	4
188	Delft MD-gebouw	.022	.009	.006	.007	.005	.024	.016	.012	1	2	3
551	Haarlem schouw	-.001	-.001	.004	.008	.004	.010	.020	.008	2	2	4
552	Haarlem BAVO O	.016	.003	.005	.010	.005	.007	.020	.006	2	2	4
553	Haarlem BAVO N	.011	.002	.004	.010	.005	.010	.035	.009	2	2	4
571	Loenermark B.M	.021	.006	.005	.007	.005	.007	.018	.005	2	2	4
572	Loenermark B.O	.011	.003	.004	.009	.004	.010	.013	.009	2	2	4
573	Loenen HK	-.009	.000	.004	.008	.004	.009	.018	.007	2	2	4
581	Heerenvn HG K	.020	.004	.004	.013	.004	.020	.022	.023	2	2	4
582	Heerenvn EUR K	-.017	-.001	.005	.016	.005	.020	.026	.023	2	2	4
583	Langezwaag HK	.002	.000	.004	.009	.004	.020	.024	.023	2	2	4
15	Heerenveen NS	.002	-.002	.003	.012	.004	.020	.023	.023	2	2	4
611	St.Anna-par GK	-.017	-.003	.004	.008	.004	.020	.027	.023	2	2	4
612	St.Anna-par HK	-.017	-.003	.004	.011	.004	.020	.025	.023	2	2	4
613	Hallum HK	.000	-.001	.004	.014	.004	.020	.021	.023	2	2	4
10	Leeuwarden NS	.022	.003	.004	.010	.004	.020	.029	.023	2	2	4
621	Nieuwolda HK	-.006	.000	.004	.008	.004	.028	.019	.032	2	2	4
622	Siddeburen GK	-.029	-.005	.005	.010	.005	.028	.015	.032	2	2	4
623	S'buren por HK	-.020	-.003	.005	.009	.005	.028	.017	.032	2	2	4
624	S'buren ste HK	.000	.001	.005	.008	.005	.028	.020	.032	2	2	4
26	Gasselte NH	-.012	-.003	.004	.008	.004	.028	.020	.032	2	2	4
632	Gas.Nijvn GEMH	.008	.002	.005	.010	.005	.028	.015	.032	2	2	4
633	Borger bunk BZ	.015	.003	.005	.008	.005	.028	.020	.032	2	2	4
651	Lstad SMEDING	.010	.002	.004	.008	.004	.009	.016	.008	2	2	4
652	Lstad AGORA	.022	.004	.005	.010	.005	.007	.027	.006	2	1	3
653	Lstad POLDERD	.014	.003	.004	.007	.004	.009	.017	.008	2	2	4
661	Vriezenveen HK	.020	.005	.004	.008	.004	.010	.021	.008	2	2	4
662	Vroomshoop HK	.001	.001	.005	.011	.005	.007	.023	.006	2	2	4
663	Kloosterhaa HK	-.003	.000	.004	.012	.005	.009	.020	.009	2	2	4
90	Hengelo NS	-.013	.000	.004	.011	.005	.010	.034	.009	2	2	4
672	Beckum RK	.006	.002	.005	.010	.005	.010	.046	.006	2	2	4
673	Delden RK	-.019	-.001	.004	.011	.004	.010	.041	.009	2	2	4

vervolg →

Tabel 3.9: Resultaten excentrische metingen RWS netwerk 1987 en 1990.

vervolg tabel 3.9

	Station	samen		σ		∇		aantal				
		-1987	-1990	87	90	samen	87	90	samen	87	90	samen
681	Leusden HK	-.012	.000	.004	.008	.004	.015	.023	.009	2	2	4
682	Amersfoort OLV	-.028	-.001	.005	.010	.005	.020	.022	.007	2	3	5
683	Hooglanderv RK	-.058	-.001	.004	.009	.005	.022	.031	.010	2	2	3
691	Molenhoek RK	.016	.004	.004	.007	.004	.010	.018	.008	2	2	4
692	Nijmegen KLOOS	.014	.004	.005	.009	.005	.016	.012	.006	2	2	4
693	Nijmegen RK	.009	.002	.004	.008	.004	.010	.018	.008	2	2	4
110	Den Bosch NS	.041	.002	.004	.010	.005	.010	.019	.010	2	2	3
702	Haaren RK	.007	.002	.005	.009	.005	.017	.022	.006	2	2	4
703	Helvoirt RK	.016	.003	.004	.008	.004	.010	.018	.008	2	2	4
711	Zuid-Beijer HK	.008	.002	.005	.008	.005	.022	.019	.025	2	2	4
712	Piershil HK	-.004	-.002	.005	.009	.005	.022	.015	.025	2	2	4
713	Goudswaard HK	-.031	-.008	.004	.008	.005	.022	.018	.025	2	2	4
721	Ouwerkerk HK	.021	.005	.004	.008	.005	.010	.019	.009	2	2	4
722	Kerkwerpe HK	.026	.005	.005	.009	.005	.007	.014	.006	2	2	4
723	Zierikzee STLI	.011	.002	.004	.008	.005	.010	.020	.009	2	2	4
135	Middelburg NS	-.007	-.001	.004	.008	.005	.014	.019	.009	2	2	4
732	Middelburg HK	.013	.004	.005	.009	.005	.014	.013	.006	2	2	4
733	Vlissingen NHK	.011	.003	.004	.007	.004	.010	.018	.008	2	2	4
741	Nieuw-Namen RK	.006	.001	.004	.007	.004	.010	.017	.008	2	2	4
742	Clinge RK	.002	.001	.005	.008	.005	.007	.012	.006	2	2	4
743	Huist RAADHS	-.004	-.001	.005	.008	.005	.011	.017	.009	2	2	4
751	Weert HK	.015	.003	.004	.008	.004	.013	.021	.008	2	2	4
752	Soerendonk RK	.002	.000	.005	.009	.005	.010	.015	.006	2	2	4
753	Maarheze RK	.012	.003	.004	.008	.004	.009	.020	.008	2	2	4
761	Kronenberg RK	.018	.002	.004	.013	.005	.010	.029	.010	2	2	4
762	Hegelsom RK	.043	.004	.005	.015	.005	.006	.019	.006	2	2	4
763	Lottum RK	.026	.003	.004	.013	.005	.009	.029	.009	2	2	4
771	Heer RK	-.023	-.004	.005	.009	.005	.019	.014	.006	2	2	4
772	Banholt RK	.020	.005	.005	.007	.005	.049	.017	.011	2	2	4
150	Maastricht NS	-.005	-.001	.005	.008	.005	.034	.018	.009	2	2	4
781	Gilze RK	-.024	-.005	.004	.008	.005	.011	.019	.009	2	2	4
782	Rijen RAADHS	.019	-.002	.005	.010	.006	.008	.015	.007	2	2	5
783	Dongen RK	.048	.007	.005	.010	.005	.011	.021	.010	2	2	4

Conclusies

De resultaten van de campagne uit 1987 zien er goed uit. De instrumenten vertonen een stabiel gedrag gedurende het project. Dit zal voor een groot deel komen doordat slechts één meetploeg is ingeschakeld. De opzet van het netwerk zorgt voor een goede precisie van de uiteindelijke zwaartekrachtwaarden en betrouwbaarheid van metingen en resultaten.

De resultaten van de campagne uit 1990 zien er niet zo goed uit. Bijna de helft van de metingen is onbruikbaar door verschillende redenen. De belangrijkste zijn dat één van de instrumenten slecht functioneerde en dat een deel van de metingen niet op de juiste plaatsen zijn gedaan, vermoedelijk door een gebrek aan instructie. Ook de instrumenten die normaal goede resultaten opleveren, vertoonden hier een minder stabiel gedrag, wat vermoedelijk (voor een deel) te wijten is aan de inzet van meerdere meetploegen die bovendien weinig of geen ervaring met gravimeters hadden. Zoals men mag verwachten bereikt men dan geen zeer precieze metingen. Het verdient dan ook aanbeveling om eventuele toekomstige eerste orde zwaartekrachtmetingen door een ervaren meetploeg te laten verrichten.

Door de slechte resultaten van 1990 is het niet mogelijk een zinvolle vergelijking met de 1987 resultaten uit te voeren. Wel kan een kleine vergelijking worden gedaan tussen TUD en RWS87 resultaten. Het punt in Delft komt in beide netten voor, en verder worden de stations Heerenveen, Leeuwarden, Hengelo, Den Bosch, Maastricht en Middelburg gebruikt als excentrische punten. Daarnaast zijn nog enkele punten die via vroegere metingen aan het TUD net kunnen worden gekoppeld gebruikt als excentrische punten (Haarlem, Heerenveen, Gasselte NH). Het gemiddelde verschil tussen de waarden uit TUD en waarden uit RWS87 is ongeveer -0.050 mgal.

De aansluiting aan drie Duitse punten lijkt goed. De drie aansluitingen zorgen dat eventuele grote schaalfactorfouten kunnen worden gecontroleerd. Men dient wel te bedenken dat deze Duitse waarden alle drie sterk afhangen van de aansluitpunten van DSGN76 (Sigl e.a., 1981; Boedecker en Richter, 1987) zodat een (kleine) systematische fout mogelijk is. Dit kan onafhankelijk wordt gecontroleerd met 3 zwaartekrachtwaarden die zijn gegeven in België. De verschillen tussen de gegeven waarden en de berekende waarden uit RWS87 zijn voor Blankenberge, Oud-Turnhout en Eben-Emaël respectievelijk -0.028 , -0.027 en -0.018 mgal. Als de Belgische waarden als correct worden verondersteld zijn de Duitse waarden dus ongeveer 0.025 mgal te groot. Omdat uitsluitel nu niet direct te geven is worden de Duitse waarden gebruikt. In hoofdstuk 5 zal een vergelijking wel mogelijk zijn als nieuwe absolute metingen in Nederland worden meegenomen. De zwaartekrachtwaarden die zijn gegeven in dit hoofdstuk moeten dus niet als zodanig worden gebruikt, evenals als die in hoofdstuk 2 van het TUD net.

4 NED91 netwerk en NED93 netwerk

In 1991 zijn in Nederland voor het eerst absolute metingen gedaan op het momenteel haalbare precisieniveau van ongeveer 0.010 mgal. De groep van Institut für Erdmessung (IfE) van de universiteit in Hannover (Duitsland) is gevraagd deze metingen te verrichten omdat zij over een moderne absolute gravimeter beschikt. Het doel van deze metingen is om als referentie te gelden voor de overige eerste orde punten in Nederland en om een eventuele zwaartekrachtverandering ten gevolge van bodembeweging te kunnen registreren. Als locaties voor de absolute metingen werd gekozen voor de radiosterrenwacht in Westerbork, het satellietobservatorium in Kootwijk en de Faculteit der Geodesie in Delft. Het project is gefinancierd door de Nederlandse Commissie voor Geodesie. Voor een uitgebreidere beschrijving van dit project wordt verwezen naar (Van Ree, 1991; Strang van Hees e.a., 1995). De resultaten van de absolute metingen waren naar volle tevredenheid wat de punten in Westerbork en Kootwijk betreft. Op het punt in Delft echter, was het niet mogelijk zeer precieze metingen te doen. Dit werd veroorzaakt door te sterke horizontale trillingen die het instrument ondervond, waarschijnlijk ten gevolge van golfslag op de kust en de zeer instabiele grond rondom Delft.

Mede hierdoor werd besloten om in 1993 opnieuw enkele absolute punten te meten. Hiertoe werd het nieuwe seismische station van het KNMI in Epen (Limburg) gebruikt en er werd ook weer in Kootwijk gemeten. Hetzelfde instrument van IfE werd gebruikt en wederom werden de kosten door de NCG gedragen. Op beide punten werden acceptabele resultaten behaald, waarbij vermeld kan worden dat de meet-situatie in Epen één van de stabielste in Europa is gebleken. Dit komt doordat dit (ondergrondse) station op het Carboon is geplaatst.

Tegelijkertijd met de absolute metingen zijn ook relatieve zwaartekrachtmetingen verricht. Dit had enerzijds als doel om zowel de absolute waarden te controleren en betrouwbaarder te maken als de schaalfactoren van de instrumenten te controleren, en anderzijds om een aansluiting tussen de eerste orde punten van TUD en RWS met de absolute waarden te verkrijgen. Dit was tenslotte de reden voor de absolute metingen. Er is gekozen om dit tegelijk met de absolute metingen zelf te doen om zodoende systematische effecten te verkleinen. Zo kunnen bijvoorbeeld grondwaterstand en luchtdruk door het jaar verschillen zodat ook een andere zwaartekracht op een punt geldt. Maximale effecten die hierdoor kunnen optreden zijn ongeveer 0.010

mgal.

In dit hoofdstuk zullen de gemeten netwerken van deze projecten NED91 en NED93 worden beschreven.

NED91

Stations, meetopzet en metingen

Bij het NED91 project is aangesloten op 4 punten van het TUD net en 5 punten van het RWS netwerk. Figuur 4.1 laat deze stations zien. Eén van de punten in Gasselte is onderdeel van het TUD net. Het netwerk is gemeten met 4 instrumenten. Het vervoer tussen de punten heeft met auto's plaats gevonden. De punten van het RWS net en de punten in Westerbork, Kootwijk, Delft, Aurich en Bentheim zijn niet goed bereikbaar met de trein. De metingen zijn uitgevoerd gedurende twee weken, van 24 september 1991 tot en met 7 oktober 1991, welke samenvielen met de periode waarin de absolute metingen zijn verricht. De waarnemingen zijn gedaan door ervaren en minder ervaren medewerkers van de TUD en van RWS. In totaal zijn 366 metingen verricht, welke 320 verschilmetingen opleverde voor 12 punten (bij beide absolute punten is een excentrisch punt gemeten).

Berekeningen en resultaten

De vier relatieve gravimeters (3 LaCoste-Romberg G- en 1 D-gravimeters) die zijn gebruikt staan vermeld in tabel 4.1. Er zijn 1e fase berekeningen gedaan waarbij de absolute waarde van Westerbork is vastgehouden (zie tabel 4.2). De berekeningen zijn gedaan voor alle instrumenten afzonderlijk en gezamenlijk. De verschillen zijn weergegeven in tabel 4.3. In deze tabel staan de afwijkingen per instrument ten opzichte van het gemiddelde, met daarbij de standaardafwijking van de zwaartekrachtwaarden en het aantal metingen met elk instrument per punt. In de laatste kolom staan de rms-waarden van de 4 per enkel instrument. De één na laatste kolom geeft de verschillen tussen de gemiddelde waarde en de waarde uit de gezamenlijke berekening. Voor het basispunt Westerbork is dezelfde procedure toegepast als voor het punt Delft in de TUD berekening (zie hoofdstuk 2).

Instrument	Schaalfactor	σ_1	σ_2
G785	1.02206	0.006	0.012
D014	1.02940	0.006	0.013
G709	0.97878	0.006	0.013
G971	1.01171	0.006	0.016

Tabel 4.1: *Instrumentgegevens NED91 netwerk.*



Figuur 4.1: Stations van het NED91 netwerk, een vierkantje is een TUD punt, een driehoekje een RWS punt, een sterretje is een punt in het buitenland en een rondje is een absoluut punt.

Station	Zwaartekracht	σ
Westerbork	981309.119	0.010
Kootwijk	981250.884	0.010

Tabel 4.2: Absolute waarden NED91.

Eerste orde zwaartekrachtmetingen van Nederland en NEDZWA93

Station	14a	709a	785q	971e	samen -gem	rms
Assen NS	-.011	-.014	.010	.016	-.009	.013
	.004	.004	.007	.013	.003	
	8	10	7	6	31	
Gasselte NH	-.021	-.029	.009	.040	-.019	.027
	.005	.004	.007	.019	.003	
	8	9	4	2	23	
Westerbork abs	-.005	.000	.009	-.003	.000	.005
	.000	.000	.000	.000	.000	
	21	22	12	12	67	
Westerbork exc	-.014	-.010	.010	.015	-.008	.013
	.003	.003	.005	.011	.002	
	11	13	11	7	42	
Delft GEO1-BIN	.009	.025	-.022	-.013	-.002	.018
	.010	.011	.009	.019	.006	
	9	9	7	4	29	
Apeldoorn NS	.007	.024	-.012	-.021	-.002	.017
	.011	.011	.008	.018	.006	
	3	3	8	4	18	
Kootwijk pijler		.010	-.003		-.002	.008
		.010	.009		.006	
		3	3		6	
Kootwijk abs	.013	.020	-.003	-.031	.002	.020
	.008	.009	.007	.017	.005	
	17	21	32	27	97	
Gasselte OM	-.004	-.003	.024	-.016	-.003	.015
	.007	.008	.009	.016	.005	
	2	2	2	2	8	
Amersfoort OM	-.001	.012	.016	-.028	.012	.017
	.014	.013	.008	.018	.006	
	3	3	7	6	19	

vervolg →

Tabel 4.3: Resultaten NED91 netwerk voor elk der instrumenten en de totaal berekening; de bovenste lijn geeft het verschil t.o.v. het gemiddelde, de middelste de standaardafwijking uit de berekening en de onderste het aantal metingen op het punt. De waarde in de laatste kolom is de rms-waarde van de 4 waarden per station.

vervolg tabel 4.3

Station	14a	709a	785q	971e	samen-gem	rms
Aurich ZKNHS	.015	-.028	-.006	.020	-.004	.019
	.011	.011	.009	.013	.006	
	2	2	2	2	8	
Bentheim SCHOOL	.012	-.010	-.023	.021	-.008	.017
	.008	.008	.007	.015	.005	
	4	5	4	5	18	

Uit tabel 4.3 kan de volgende informatie worden gelezen:

- De verschillen van een enkel instrument ten opzichte van het gemiddelde zijn veelal groter dan men op basis van de formele standaardafwijking zou verwachten.
- Dit kan men ook zien aan de rms-waarden die groter zijn dan de formele standaardafwijkingen.
- De verschillen tussen het gemiddelde van de vier en de totale berekening is vrij groot (0.005-0.010 mgal) met een uitschieter van 0.019 mgal. Dit komt door de verschillen in standaardafwijking van de instrumenten.

De betrouwbaarheid van het netwerk lijkt voldoende. De lokale overtaligheidsgetalen voor de waarnemingen is groter dan 0.9 terwijl de grenswaarde van de waarnemingen 0.020-0.050 mgal is. De grenswaarde van de onbekende zwaartekrachtwaarden is 0.012-0.016 mgal.

Het verschil uit de relatieve metingen tussen Westerbork en Kootwijk en de bekende punten in Duitsland (Bentheim School en Aurich Ziekenhuis) kunnen worden vergeleken met de gegeven absolute waarden. Dit is gedaan in tabel 4.4.

Station	Absolute waarde	Relatieve waarde	Vershil
Westerbork	981309.118	981309.118	0.000
Kootwijk	981250.884	981250.891	-0.007
Bentheim SCHOOL	981270.640	981270.612	-0.028
Aurich ZKNHS	981356.767	981356.751	-0.016

Tabel 4.4: *Verschillen tussen de gegeven absolute waarden en de gemeten relatieve waarden uit NED91 (met Westerbork vast).*

NED93

Stations, meetopzet en metingen

Bij het NED93 project is aangesloten op 7 punten van het TUD net en 7 punten van het RWS netwerk. Daaronder zijn 2 punten uit het Duitse eerste orde net (DSGN76) en 1 Belgisch punt. Verder is naast de punten in Kootwijk en Epen waar absolute metingen werden verricht ook nog op het absolute punt in Westerbork gemeten. Figuur 4.2 laat de stations zien waar is gemeten. Het netwerk is gemeten met 4 instrumenten (eigenlijk 5, één instrument is tijdelijk vervangen door een ander). Het vervoer tussen de punten heeft met auto's plaats gevonden. De metingen zijn uitgevoerd gedurende twee weken, van 22 februari 1993 tot en met 8 maart 1993. Dit viel samen met de periode waarin de absolute metingen in Kootwijk en Epen zijn verricht. De waarnemingen zijn gedaan door ervaren medewerkers van de TUD en van RWS. In totaal zijn 323 metingen verricht, welke 280 verschilmetingen opleverde voor 22 punten (bij Kootwijk en Epen zijn respectievelijk 2 en 3 excentrische punten gemeten en in Aken zijn 2 punten beschikbaar).



Figuur 4.2: Stations van het NED93 netwerk, een vierkantje is een TUD punt, een driehoekje een RWS punt, een sterretje is een punt in het buitenland en een rondje is een absoluut punt.

Berekeningen en resultaten

De vier relatieve LaCoste-Romberg G-gravimeters die zijn gebruikt staan vermeld in tabel 4.5. Er zijn 1e fase berekeningen gedaan waarbij de absolute waarde van Epen is vastgehouden (zie tabel 4.6).

De berekeningen zijn weer gedaan voor alle instrumenten afzonderlijk en gezamenlijk. De verschillen zijn weergegeven in tabel 4.7. In deze tabel staan de afwijkingen per instrument ten opzichte van het gemiddelde, met daarbij de standaardafwijking van de zwaartekrachtwaarden en het aantal metingen met elk instrument per punt. In de laatste kolom staan de rms-waarden van de 4 per instrument. In de één na laatste kolom staat het verschil tussen het gemiddelde van de vier en de gezamenlijke berekening. Voor het basispunt Epen is weer dezelfde procedure toegepast als voor het punt Delft bij de TUD berekeningen (zie hoofdstuk 2).

Instrument	Schaalfactor	σ_1	σ_2
G785	1.02206	0.006	0.012
G079	1.03820	0.006	0.024
G298	1.05981	0.006	0.021
G971	1.01171	0.006	0.018
G709	0.97879	0.006	0.013

Tabel 4.5: *Instrumentgegevens NED93 netwerk.*

Station	Zwaartekracht	σ
Epen	981100.559	0.010
Kootwijk	981250.901	0.010

Tabel 4.6: *Absolute waarden NED93.*

Eerste orde zwaartekrachtnet van Nederland en NEDZWA93

Station	79a	298a	971f	785r	tot-gem	rms
Zwolle NS	.034	-.010	.004	-.027	-.003	.022
	.023	.021	.011	.017	.010	
	1	1	1	1	4	
Westerbork abs	.005	.004	.002	-.010	-.002	.006
	.025	.023	.011	.019	.011	
	1	1	1	1	4	
Amersfoort NS	.017	-.011	-.007	.001	-.004	.011
	.019	.017	.009	.013	.008	
	2	2	2	2	8	
Delft GEO1-BIN	-.023	.002	.012	.011	.006	.014
	.019	.017	.008	.014	.008	
	5	5	6	6	22	
Apeldoorn NS	.027	.001	-.013	-.016	-.010	.017
	.019	.016	.008	.013	.008	
	3	3	3	3	12	
Radio Kootwijk	-.013	.001	-.002	.013	-.002	.009
	.020	.017	.009	.015	.008	
	1	1	1	1	4	
Kootwijk abs	.005	.001	-.006	.002	-.005	.004
	.016	.015	.007	.012	.007	
	7	7	8	8	30	
Kootwijk hal	.011	-.001	-.003	-.006	-.004	.006
	.016	.015	.007	.012	.007	
	8	8	8	9	33	
Eindhoven NS	-.023	.006	.016	.000	.006	.014
	.011	.010	.005	.008	.004	
	5	5	5	5	20	
Maastricht NS	-.007	.004	.004	.000	.000	.004
	.009	.008	.004	.006	.004	
	3	3	3	3	12	

vervolg →

Tabel 4.7: *Resultaten NED93 netwerk voor elk der instrumenten en de totaal berekening; de bovenste lijn geeft het verschil t.o.v. het gemiddelde, de middelste de standaardafwijking uit de berekening en de onderste het aantal metingen op het punt (971f was gecombineerd met enkele metingen met 709b).*

vervolg tabel 4.7

Station	79a	298a	971f	785r	tot-gem	rms
Epen Rozenhof	-.002 .008 3	-.017 .007 3	.020 .004 2	-.002 .006 3	.003 .004 11	.013
Epen abs	.001 .000 16	-.010 .000 16	-.005 .000 16	.004 .000 16	.000 .000 64	.006
Epen exc	.000 .004 7	-.003 .004 7	.001 .002 7	.003 .003 7	-.001 .002 28	.002
Epen kerk	.000 .008 3	-.018 .007 3	.007 .004 3	.010 .006 3	.001 .004 12	.011
Heerlen NS	-.003 .009 3	.005 .008 3	-.005 .004 3	.002 .007 3	-.004 .004 12	.004
Loenerm.B.WEST	-.026 .019 2	.007 .017 2	.002 .009 2	.018 .013 2	.004 .008 8	.016
Aken TU	.003 .010 2	-.009 .009 2	.012 .005 2	-.006 .008 2	.003 .004 8	.008
Aken Adalbertkerk	-.023 .014 1	.021 .013 1	.009 .007 1	-.008 .010 1	.002 .006 4	.017
Eben-Emael	.004 .010 2	-.011 .009 2	-.014 .006 1	.021 .008 2	-.002 .005 7	.014
Amersfoort OM	.008 .020 2	.017 .018 2	-.014 .009 2	-.012 .014 2	-.010 .008 8	.013
St.Geertrui OM	.006 .010 2	.004 .009 2	-.012 .005 2	.002 .008 2	-.006 .004 8	.007

vervolg →

Eerste orde zwaartekrachtmetingen van Nederland en NEDZWA93

vervolg tabel 4.7

Station	79a	298a	971f	785r	tot-gem	rms
Bentheim SCHOOL	-.005	.017	-.011	-.001	-.007	.010
	.024	.021	.011	.017	.010	
	1	1	1	1	4	

Uit deze tabel kan de volgende informatie worden gelezen:

- De rms van de verschillen van 4 afzonderlijke instrumenten ten opzichte van het gemiddelde is typisch 0.006-0.013 mgal met enkele uitschieters op punten waar slechts één keer is gemeten.
- De verschillen met het gemiddelde zijn voor G079 over het algemeen groter dan voor de drie andere gebruikte instrumenten.
- De rms-waarden komen overeen met de formele standaardafwijkingen uit de afzonderlijke berekeningen per instrument.

De betrouwbaarheid van het netwerk is goed. De lokale overtalligheidswaarden voor de waarnemingen is groter dan 0.7 met één basispunt terwijl de grenswaarde van de waarnemingen dan 0.030-0.070 mgal is. De grenswaarde van de onbekende zwaartekrachtwaarden is 0.010-0.020 mgal. Als alle bekende punten (5) worden meegenomen in de vereffening verbetert de interne betrouwbaarheid en de externe betrouwbaarheid krijgt waarden kleiner dan 0.008 mgal.

De verschillen tussen de bepaalde of gegeven absolute waarden en de verschillen uit de relatieve metingen kunnen worden vergeleken. In tabel 4.8 staan deze verschillen, waarbij de waarde van Epen is vastgehouden voor de relatieve metingen. Voor het punt in Aken staan twee vergelijkingen gegeven. Er is vergeleken met de waarde van het punt uit DSGN76 en tevens met de absolute waarde die voor dat punt is bepaald met de JILAG-3 (persoonlijke communicatie L. Timmen, IfE, Universität Hannover).

Station	Absolute waarde	Relatieve waarde	Vershil
Epen	981100.559	981100.559	0.000
Kootwijk	981250.901	981250.903	0.002
Aken TU / DSGN76	981094.953	981094.925	-0.028
Aken TU / abs	981094.919	981094.925	0.006
Westerbork	981309.118	981309.110	-0.008
Bentheim SCHOOL	981270.640	981270.609	-0.031
Eben-Emael	981114.555	981114.531	-0.024

Tabel 4.8: Verschillen tussen de gegeven absolute waarden en de gemeten relatieve waarden uit NED93 (met Epen vast).

Conclusies

De beide netwerken van relatieve zwaartekrachtmetingen NED91 en NED93 zijn betrouwbaar opgezet door een grote overtaligheid aan metingen ten opzichte van het aantal punten. De verschillen die worden gevonden tussen de verschillende instrumenten zijn van de orde van 0.010 tot 0.020 mgal rms.

De verschillen tussen de bepaalde absolute waarden en de tegelijkertijd gemeten relatieve verschillen zijn goed. De verschillen tussen de punten waar in Nederland absolute waarden zijn bepaald zijn ruim binnen de standaardafwijkingen. De overeenkomsten met de gegeven waarden in Duitsland van DSGN76 zijn wat minder goed. Westerbork, Kootwijk en Aurich komen overeen op het niveau van de precisie, Bentheim wijkt daar van af. De overeenkomst met de absolute waarde in Aken is veel beter dan met de DSGN76 waarde. In het volgende hoofdstuk kan een betere vergelijking worden gegeven waarbij ook de overlappende punten van TUD en RWS en NED91 en NED93 zullen worden bekeken.

Opmerkelijk is dat de absolute waarde in Kootwijk tussen 1991 en 1993 0.017 mgal anders is. Dit zou kunnen worden veroorzaakt door bijvoorbeeld een zeer grote grondwaterstand wijziging. De veranderde waarde wordt op het eerste oog bevestigd door de relatieve metingen. Ook hierop zal verder worden ingegaan in het volgende hoofdstuk.

5 Vergelijking van de vier netten en het maken van het Nederlandse zwaartekracht datum 1993 (NEDZWA93)

De vier netwerken TUD, RWS en NED91 en NED93 zijn tot nu toe alleen afzonderlijk vereffend. De schaal-factoren van de instrumenten zijn aangenomen als bekend, en er is in principe één basispunt gebruikt. Voor RWS zijn 6 bekende punten gegeven (of eigenlijk drie keer 2) met een standaardafwijking van 0.010 mgal. Deze waarden zijn niet in conflict gekomen met de schaalfactoren van de drie gebruikte instrumenten G785, G686 en G754 zoals die zijn gebruikt. Deze schaalfactoren zijn echter waarschijnlijk niet helemaal juist. De oorspronkelijk toegepaste procedure is namelijk geweest, dat voor G785 i.p.v. de door de fabrikant geleverde waarde van 1.02121 de waarde 1.02200 is gebruikt, en dat voor de instrumentschalen van G686 en G754 dezelfde correctiefactor toegepast. De resultaten met deze parameters zijn ook opgeslagen in ORSNAP, het hoogteopslagsysteem van de MD. Hier zijn nu echter twee zaken die een mogelijke aanpassing behoeven. Ten eerste de schaalfactor van de G785. De schaalfactor 1.02200 is eens bepaald door enkele metingen in Duitsland op punten waarvan een zwaartekrachtwaarde bekend was. Door de vele metingen die echter de laatste jaren zijn gedaan met dit instrument op verschillende punten in Duitsland, en op de absoluut bepaalde punten in Nederland kan een betere schaalfactor worden bepaald. Ten tweede is de correctiefactor die wordt toegepast op de door de fabrikant geleverde schaalfactor niet voor elk instrument gelijk. Deze correctiefactor vraagt sowieso enige toelichting. Deze wordt namelijk veroorzaakt door verschillen in de ijkbases van de fabrikant en de Hannover-groep in Duitsland. De meeste G-gravimeters die op de Duitse ijkbasis wordt gec calibreerd krijgen een correctiefactor van 1.0004 tot 1.0008. Deze verschilt echter wel per instrument. Dit kan enerzijds liggen aan onvoldoende metingen op één of beide bases, of aan een verandering van één of beide bases in de tijd.

Om optimaal gebruik te kunnen maken van de zwaartekrachtmetingen uit de vier projecten is gekozen om de schaalfactor (en dus de correctiefactor) voor de G785 te bepalen en vast te leggen. Uit de metingen van het TUD net blijkt dat de schaalfactor in ieder geval niet waarneembaar veranderd is sinds 1986. De schaalfactor van G785 wordt bepaald op basis van alle daarmee verrichte metingen en de absolute

punten en de metingen die zijn gedaan samen met de G709. Dit instrument is ook beter en stabielier dan gemiddeld (persoonlijke communicatie met L. Timmen, IfE, Universität Hannover, 1993) en bovendien veelvuldig geijkt op de Duitse ijkbasis. Omdat de instrumenten G709 en G785 niet al te ver na elkaar zijn gemaakt zal de correctiefactor niet al te veel verschillen, als de schaalfactorverschillen worden veroorzaakt door een veranderende ijkbasis van de fabrikant in de tijd. En dit blijkt inderdaad uit te komen. De schaalfactor die uiteindelijk is bepaald voor G785 is 1.02206.

Op basis van de vastgelegde schaalfactor van G785 kan dan een tweede fase kleinste kwadraten vereffening van alle netten worden uitgevoerd waarbij dan een controle van alle bekende punten wordt uitgevoerd. Hierbij is gebleken dat de waarde van de punten in Bentheim niet passen bij de Nederlandse waarnemingen. Deze metingen bevestigen de verschillen in zwaartekracht zoals die worden aangegeven door het DSGN76 netwerk. Echter, volgens de Hannover groep (persoonlijke communicatie met L. Timmen) zijn de waarden in Aurich en Aken ongeveer 0.030 mgal kleiner dan de DSGN76 waarden. De Bentheim waarden zijn echter niet noemenswaardig veranderd volgens hem. Dit sluit dus niet aan bij onze waarnemingen. Er is gekozen om Bentheim verder te negeren als bekend punt. De overige waarnemingen sluiten goed aan bij de punten in Aurich en Aken, de drie bekende punten in België en de absolute metingen in Westerbork, Kootwijk en Epen.

Er moet nu nog één probleem worden bekeken voordat kan worden overgegaan naar een gecombineerde berekening met alle metingen en absolute waarden bij elkaar. Dit probleem betreft de absolute waarden in Kootwijk. In het vorige hoofdstuk is al duidelijk geworden dat de absolute waarde die is bepaald in 1993 0.017 mgal groter is dan de waarde die is bepaald in 1991. Beide waarden zijn min of meer bevestigd door de relatieve metingen die tegelijkertijd zijn uitgevoerd. Het lijkt er dus in eerste instantie op dat de zwaartekrachtwaarde in Kootwijk daadwerkelijk veranderd is in die twee jaar. Men kan echter ook in plaats van alleen Kootwijk te vergelijken de andere punten in de buurt daarvan bekijken, Apeldoorn NS, en Amersfoort OM, die zowel in NED91 als NED93 zijn bepaald. Men kan dan bij deze berekening het punt in Kootwijk als twee afzonderlijke punten beschouwen, Kootwijk91 en Kootwijk93. Neemt men de beide absolute waarden voor 'deze twee punten' mee met de bijbehorende standaardafwijking, dan vindt men 2 waarden die 0.008 mgal van elkaar liggen en waarbij geen extra waarnemingen, noch absolute waarden worden verworpen. Als men bovendien de andere netwerken meeneemt in een berekening zijn er meer punten die een rol spelen bij de vereffening. Neemt men weer de beide absolute waarden voor 'deze twee punten' mee met de bijbehorende standaardafwijking, dan vindt men 2 waarden die 0.003 mgal van elkaar liggen en waarbij geen extra waarnemingen, noch absolute waarden worden verworpen. Uit alle metingen bij elkaar wordt dus een veel kleiner verschil gevonden dan de 0.017 mgal van de absolute waarden. Een laatste

Eerste orde zwaartekrachtnet van Nederland en NEDZWA93

stap die men kan doen is het punt van Kootwijk weer als één punt te beschouwen en het gemiddelde van de absolute waarden toe kennen. Als men dit doet dan blijkt dat er geen extra waarnemingen worden verworpen. Men mag dus concluderen dat er in Kootwijk geen significante zwaartekrachtverandering heeft plaats gevonden en dat het gemeten zwaartekrachtverschil met de absolute gravimeter toevallig is. Als men alleen naar het punt Kootwijk kijkt met de relatieve metingen dan wordt dit ook toevallig bevestigd. Neemt men echter alle punten mee in de beschouwing, dan blijkt het punt Kootwijk niet significant veranderd. Tegelijkertijd kan men hieruit concluderen dat de standaardafwijking van absolute metingen doorgaans nog niet beneden de 0.010 mgal grens is gekomen.

De absolute waarden die nu worden gebruikt voor de definitieve berekening van de zwaartekrachtwaarden van alle eerste orde punten staan gegeven in tabel 5.1. De sterretjes geven aan welke punten zijn gebruikt bij welke berekening. De Belgische punten zijn niet bij de vereffening gebruikt, maar worden achteraf vergeleken met de onafhankelijk bepaalde NEDZWA93 waarden. De standaardafwijking voor een enkele bepaling met JILAG3 is gelijk gesteld aan 0.010 mgal. De absolute waarde van Epen krijgt wel een standaardafwijking van 0.007 mgal omdat dit punt één van de meest stabiele punten van Europa is gebleken. De spreiding van de metingen is veel kleiner dan op andere punten.

Station	Absolute waarde	σ	TUD	RWS	NED91	NED93	NEDZWA93
Westerbork	981309.118	0.010			*	*	*
Kootwijk 91	981250.884	0.010					
Kootwijk 93	981250.901	0.010					
Kootwijk	981250.893	0.007			*	*	*
Epen	981100.559	0.007				*	*
Aken TU	981094.919	0.010		*		*	*
Aurich ZKNHS	981356.744	0.010			*		*
Delft GEO1-BIN	981240.735	0.008	*				
Aken Adalbertkerk	981097.095	0.010		*			
Aurich GEMHS	981357.227	0.010		*			
Aurich KASTEEL	981357.346	0.010		*			
Eben-Emael	981114.555	0.010					
Oud Turnhout	981182.260	0.010					
Blankenberge	981186.375	0.010					

Tabel 5.1: *Absolute waarden met standaardafwijkingen, de * geven aan welke waarden voor welk net zijn gebruikt voor de resultaten van tabel 5.2 en tabel 5.4.*

Op basis van deze bekende punten zijn dan alle schaalfactor-correcties bepaald van de overige instrumenten. Deze hoeven namelijk niet hetzelfde te zijn als voor G785, zoals al eerder aangegeven. De uiteindelijke correctiefactoren zijn in bijlage A opgenomen. Dit heeft geen grote consequenties gehad voor de zwaartekrachtverschillen in de zwaartekrachtwaarden op de OM. Maar wel voor de absolute waarden daarvan, omdat de aansluitpunten nu niet meer de DSGN76 waarden hebben gekregen, maar een waarde die ongeveer 0.030 mgal minder is. De waarde van Delft is 0.020 mgal groter dan de waarde die is gebruikt bij de TUD berekeningen. Dit bevestigt nog eens de conclusie die in hoofdstuk 3 werd getrokken.

Het is belangrijk zich te realiseren dat alle waarden van de eerste orde zwaartekrachtpunten voor een deel zijn bepaald door de Duitse ijkbasis. Er wordt bij de huidige procedure vanuit gegaan dat die ijkbasis de juiste zwaartekrachtwaarden heeft (in ieder geval relatief). De schaalfactoren van de instrumenten sluiten aan bij deze ijkbasis. Als de ijkbasis van de fabrikant als juist wordt aangenomen dan betekent dat ongeveer een schaalfactor verandering van gemiddeld $1/1.0007$, hetgeen voor de maximale zwaartekrachtverschillen in Nederland (240 mgal) een effect van 0.170 mgal betekent! De waarden van de Duitse ijkbasis worden bevestigd door de absolute gravimeter van de Hannovergroep. Men kan zich echter afvragen of deze twee wel onafhankelijk zijn. Het kan zijn dat de absolute gravimeter ook op één of andere manier invloed heeft gehad op deze ijkbasiswaarden. Aan de andere kant blijkt dat de metingen met deze absolute gravimeter (JILAG3) goed overeen komen met andere absolute gravimeters van over de hele wereld (zie BGI-Bulletin d'Information no 68, 1991). Er kan daarom van worden uitgegaan dat de huidige gebruikte schaalfactor voor het Nederlandse zwaartekrachtnet de juiste is en er geen significante systematische fouten in het netwerk zitten.

Nu alle absolute waarden die kunnen worden gebruikt bekend zijn samen met hun standaardafwijkingen, en de schaalfactoren van de instrumenten zijn vastgelegd kan een gezamenlijke berekening worden uitgevoerd. Alle metingen van TUD, RWS87, NED91 en NED93 zijn bij elkaar gevoegd en een tweede fase kleinste kwadraten berekening is uitgevoerd. Voor de volledigheid wordt opgemerkt dat de excentrische metingen van 1990 niet zijn gebruikt, omdat voor de meeste excentrische waarden geen echte verbetering van precisie en betrouwbaarheid optreedt. In totaal zijn 2167 observaties gebruikt voor 1816 verschilmetingen. De zwaartekrachtwaarden die hiermee zijn bepaald voor alle eerste orde punten vormen gezamenlijk het Nederlands zwaartekrachtdatum 1993.

In tabel 5.2 staan de waarden gegeven van alle punten die hierbij horen. De hoogten H van de NS-punten zijn (nog) geschatte waarden. Voor ieder punt staat ook een waarde ΔH gegeven. Dit is het hoogteverschil tussen instrument en peilmerk. Op de ondergrondse merken staat het instrument boven op het peilmerk dus is ΔH

Eerste orde zwaartekrachtmet van Nederland en NEDZWA93

groter dan 0. Op de TUD punten is geen vastlegging middels een peilmerk en staat het instrument direct op de grond, $\Delta H = 0$. De zwaartekrachtwaarden die staan gegeven zijn waarden die gelden *op peilmerk hoogte!* Ze zijn berekend door toepassing van de normaal gradient -0.3086 mgal/m over ΔH . Dit is gedaan omdat dat voor alle zwaartekrachtpunten in Nederland (dus ook de 8000 2e orde punten) wordt gedaan. Alleen voor de 1e orde punten op OM heeft dit de lastige bijkomstigheid dat de normaal gradient niet juist is, omdat de punten zich onder het maaiveld bevinden. Als men één van deze punten wil gebruiken als bekend punt dan moet men het instrument opstellen op dezelfde hoogte boven het peilmerk als in de tabel staat aangegeven en de zwaartekrachtwaarde uitrekenen op instrumenthoogte. Men zal zien dat voor ieder punt men bij een logische en juiste instrument opstelling vanzelf deze ΔH vindt. Omdat de onderkant van de voetjes van het instrument is gebruikt is het van belang dat de voetjes een min of meer gelijke afstand uitsteken gedurende de metingen op één dag.

Op basis van de gekozen absolute waarden en vastgelegde schaalfactoren zijn ook de 4 deelnetten nog eens uitgerekend. De gebruikte basispunten staan gegeven in tabel 5.1. Voor het TUD net is de waarde van Delft als basispunt gekozen als de NEDZWA93 waarde. De bekende punten voor RWS87 zijn de punten in Aken en Aurich, welke zijn gecorrigeerd voor het verschil tussen de DSGN76 waarden en de later met JILAG3 bepaalde absolute waarden. In Aurich is dat verschil -0.023 mgal, in Aken -0.032 mgal. De verschillen van de 4 deelnetten met de NEDZWA93 waarden staan gegeven in tabel 5.4. De verschillen tussen de gegeven absolute waarden van de drie Belgische punten en de nieuw bepaalde NEDZWA93 waarden zijn voor Blankenberge, Oud-Turnhout en Eben-Emael respectievelijk -0.004 mgal, -0.006 mgal en -0.015 mgal. Dit is een prima resultaat. Uit een vergelijking voor de punten op OM is te zien dat de waarden die zijn opgeslagen in ORSNAP gemiddeld ongeveer 0.030 mgal te groot zijn door de DSGN76 waarden zijn gebruikt voor de aansluiting en er zijn verder nog verschillen doordat geen rekening is gehouden met de hoogteverschillen ΔH . Voor alle duidelijkheid, het is aan te raden de nieuwe NEDZWA93 waarden te gebruiken.

Vergelijking van de vier netten en het maken van NEDZWA93

	Station	φ	λ	H	ΔH	Zwaartekracht	σ	∇	aantal
10	Leeuwarden NS	53.1961	5.7927	3.00	.00	981336.751	.005	.009	13
15	Heerenveen NS	52.9603	5.9167	.00	.00	981332.107	.005	.009	15
20	Groningen NS	53.2109	6.5637	.00	.00	981330.900	.005	.009	27
22	Winschoten NS	53.1396	7.0352	.00	.00	981330.579	.006	.009	7
25	Assen NS	52.9923	6.5706	11.16	.00	981317.989	.005	.009	43
26	Gasselte NH	52.9722	6.7878	17.84	.00	981313.924	.005	.009	47
30	Zwolle NS	52.5054	6.0905	1.00	.00	981289.882	.005	.009	38
33	Westerbork abs	52.9148	6.6038	15.80	.00	981309.118	.005	.008	73
34	Westerbork exc	52.9154	6.6036	15.80	.00	981309.098	.005	.009	42
40	Utrecht NS	52.0890	5.1075	8.00	.00	981250.900	.005	.009	32
42	Amersfoort NS	52.1534	5.3741	.00	.00	981259.134	.005	.009	30
50	Den Helder NS	52.9570	4.7604	.00	.00	981324.203	.005	.009	13
60	Alkmaar NS	52.6378	4.7409	.00	.00	981295.191	.005	.009	15
70	Haarlem NS	52.3883	4.6380	.00	.00	981277.159	.005	.009	25
81	Den Haag-halNS	52.0798	4.3252	.00	.00	981248.142	.005	.009	41
85	Delft GEO1-BIN	51.9861	4.3876	.42	.00	981240.735	.005	.009	109
86	Delft GEO2-BUI	51.9861	4.3876	-.33	.00	981241.029	.005	.009	81
90	Hengelo NS	52.2618	6.7934	18.00	.00	981270.343	.005	.009	19
95	Enschede NS	52.2220	6.8902	35.00	.00	981262.660	.006	.009	6
100	Apeldoorn NS	52.2095	5.9684	17.93	.00	981259.407	.005	.009	49
101	Radio Kootwijk	52.1748	5.8269	41.33	.00	981248.408	.007	.010	4
102	Kootwijk pijler	52.1785	5.8103	49.50	.00	981248.607	.006	.010	7
103	Kootwijk abs	52.1785	5.8103	41.33	.00	981250.893	.005	.010	134
104	Kootwijk hal	52.1785	5.8100	40.00	.00	981251.141	.005	.009	33
105	Zutphen NS	52.1443	6.1936	10.00	.00	981261.264	.005	.009	12
110	Den Bosch NS	51.6907	5.2939	5.00	.00	981198.816	.005	.009	24
120	Breda NS	51.5950	4.7796	3.00	.00	981203.813	.005	.009	28
130	Goes NS	51.4984	3.8908	.00	.00	981206.838	.005	.009	15
135	Middelburg NS	51.4955	3.6187	3.04	.00	981204.691	.006	.009	12
140	Eindhoven NS	51.4421	5.4803	15.00	.00	981166.775	.005	.009	50
150	Maastricht NS	50.8497	5.7060	50.00	.00	981126.574	.005	.009	39
152	Epen Rozenhof	50.7704	5.9290	160.00	.00	981093.465	.006	.010	13
153	Epen abs	50.7634	5.9307	129.00	.00	981100.558	.005	.011	65
154	Epen exc	50.7634	5.9307	135.00	.00	981099.253	.005	.011	28
155	Epen kerk	50.7768	5.9117	140.00	.00	981099.401	.006	.010	12
160	Heerlen NS	50.8904	5.9756	100.00	.00	981118.970	.005	.009	26

vervolg →

Tabel 5.2: NEDZWA93 waarden, hoofdpunten.

Eerste orde zwaartekrachtmetingen van Nederland en NEDZWA93

vervolg tabel 5.2

	Station	φ	λ	H	ΔH	Zwaartekracht	σ	∇	aantal
72	Loenerm.B.WEST	52.0788	5.9992	39.57	.10	981241.295	.005	.009	42
200	Aken TU	50.7781	6.0774	177.45	.00	981094.917	.005	.009	14
210	Aken Adalbertkerk	50.7754	6.0947	166.35	.00	981097.096	.005	.009	11
410	Blankenberge	51.3158	3.1303	1.92	.00	981186.371	.008	.009	3
420	Oud-Turnhout	51.3100	5.0013	22.36	.00	981182.254	.006	.009	9
430	Eben-Emael	50.7951	5.6660	74.05	.00	981114.540	.005	.009	13
550	Haarlem OM	52.3692	4.6265	.40	.03	981276.707	.005	.009	16
580	Oranjewoud OM	52.9498	5.9687	.97	.03	981331.855	.005	.009	38
610	Vrouwenparochie OM	53.2802	5.7031	-.04	.23	981343.780	.005	.009	21
620	Wagenborgen OM	53.2542	6.9299	.60	.03	981339.973	.006	.009	17
630	Gasselte OM	52.8816	6.7849	14.17	.03	981314.702	.005	.009	21
640	Wieringen OM	52.8935	4.9173	6.71	.02	981319.525	.005	.009	18
650	Lelystad OM	52.5184	5.4901	-4.92	.03	981286.849	.005	.009	33
660	Sibculo OM	52.4816	6.6427	18.55	.03	981283.667	.005	.009	24
670	Delden OM	52.2457	6.6761	10.66	.25	981272.898	.005	.009	13
680	Amersfoort OM	52.1421	5.3606	41.78	.03	981251.923	.005	.009	56
690	Malden OM	51.7988	5.8539	16.51	.03	981218.342	.005	.009	20
700	Vught OM	51.6543	5.2591	4.96	.02	981194.384	.005	.009	26
710	Goudswaard OM	51.7692	4.3063	-.20	.23	981224.193	.005	.009	17
720	Zierikzee OM	51.6420	3.9115	5.04	.03	981216.749	.006	.009	27
730	Vlissingen OM	51.4417	3.5959	4.71	.03	981198.677	.006	.009	17
740	Nieuw-Namen OM	51.2916	4.1583	1.58	.03	981185.410	.006	.009	23
750	Weert OM	51.2852	5.6489	30.90	.27	981152.767	.005	.009	34
760	Horst OM	51.4527	6.0533	23.30	.03	981186.687	.006	.008	16
770	St.Geertrui OM	50.7892	5.7557	87.22	.03	981111.903	.005	.009	39
780	Bavel OM	51.5521	4.8634	7.93	.27	981199.008	.005	.009	25
791	Aurich GEMHS	53.4671	7.4684	5.86	.00	981357.224	.009	.013	3
792	Aurich KASTEEL	53.4684	7.4778	4.95	.00	981357.350	.009	.013	3
793	Aurich ZKNHS	53.4671	7.4684	5.86	.00	981356.749	.007	.016	8
893	Bentheim SCHOOL	52.2955	7.1005	64.96	.00	981270.609	.005	.009	28
898	Bentheim KASTEEL	52.3033	7.1572	90.30	.00	981267.289	.006	.009	8

Vergelijking van de vier netten en het maken van NEDZWA93

	Station	φ	λ	H	ΔH	Zwaartekracht	σ	∇	aantal
83	Delft TU pijler	51.9891	4.3856	.77	.00	981240.626	.008	.022	2
188	Delft MD-gebouw	52.0085	4.3684	.00	.00	981242.938	.009	.026	1
551	Haarlem schouw	52.3779	4.6257	2.86	.00	981276.421	.007	.009	4
552	Haarlem BAVO O	52.3809	4.6371	1.84	.00	981276.789	.007	.009	4
553	Haarlem BAVO N	52.3765	4.6215	1.19	.00	981276.374	.007	.009	5
571	Loenermark B.M	52.0790	6.0034	38.39	.00	981241.645	.007	.009	2
572	Loenermark B.O	52.0790	6.0078	37.08	.00	981241.989	.007	.011	2
573	Loenen HK	52.1173	6.0175	29.37	.00	981246.636	.006	.009	4
581	Heerenvn HG K	52.9610	5.9204	1.09	.00	981332.437	.006	.009	8
582	Heerenvn EUR K	52.9575	5.9299	.56	.00	981332.369	.006	.009	6
583	Langezwaag HK	52.9825	6.0025	2.07	.00	981333.457	.006	.009	3
611	St.Annaparochie GK	53.2737	5.6645	1.56	.00	981344.151	.008	.011	2
612	St.Annaparochie HK	53.2769	5.6578	2.25	.00	981344.279	.007	.011	2
613	Hallum HK	53.3072	5.7852	5.14	.00	981344.212	.007	.009	2
621	Nieuwolda HK	53.2438	6.9729	.02	.00	981340.245	.008	.011	2
622	Siddeburen GK	53.2497	6.8672	1.00	.00	981337.779	.008	.014	2
623	S'buren por HK	53.2473	6.8644	2.71	.00	981337.127	.009	.011	2
624	S'buren ste HK	53.2473	6.8644	2.68	.00	981337.139	.008	.015	2
632	Gas.Nijvn GEMH	52.9866	6.8472	5.65	.00	981319.414	.008	.015	2
633	Borger bunk BZ	52.9243	6.7905	19.98	.00	981309.667	.007	.011	2
642	Breezand RK	52.8927	4.8076	.70	.00	981319.920	.007	.009	2
643	Hippolytush HK	52.9074	4.9621	4.87	.00	981321.559	.007	.010	2
651	Lstad SMEDING	52.5182	5.4889	-3.87	.00	981286.444	.007	.012	2
652	Lstad AGORA	52.5182	5.4889	-2.75	.00	981285.835	.008	.009	2
653	Lstad POLDERD	52.5182	5.4889	-4.11	.00	981286.678	.007	.012	2
661	Vriezenveen HK	52.4119	6.6255	11.34	.00	981280.808	.007	.011	2
662	Vroomshoop HK	52.4561	6.5736	10.90	.00	981283.203	.008	.009	2
663	Kloosterhaar HK	52.4952	6.6698	19.59	.00	981284.507	.007	.011	2
672	Beckum RK	52.2103	6.7410	22.14	.00	981268.356	.007	.009	2
673	Delden RK	52.2621	6.7079	21.26	.00	981270.535	.007	.009	2

vervolg →

Tabel 5.3: NEDZWA93 waarden, excentrische punten.

Eerste orde zwaartekrachtnet van Nederland en NEDZWA93

vervolg tabel 5.3

	Station	φ	λ	H	ΔH	Zwaartekracht	σ	∇	aantal
681	Leusden HK	52.1136	5.4043	3.18	.00	981258.540	.007	.011	2
682	Amersfoort OLV	52.1552	5.3872	4.35	.00	981260.906	.007	.009	2
683	Hooglanderv RK	52.1875	5.4322	3.93	.00	981261.524	.007	.011	2
691	Molenhoek RK	51.7671	5.8753	19.12	.00	981214.585	.007	.011	2
692	Nijmegen KLOOS	51.8120	5.8850	54.86	.00	981211.505	.008	.009	2
693	Nijmegen RK	51.8311	5.8480	24.69	.00	981221.243	.007	.011	2
702	Haaren RK	51.6024	5.2281	8.48	.00	981186.759	.007	.009	2
703	Helvoirt RK	51.6335	5.2285	8.19	.00	981190.936	.007	.009	2
711	Zuid-Beijer HK	51.7493	4.3655	1.27	.00	981222.622	.008	.016	2
712	Piershil HK	51.7933	4.3145	.22	.00	981224.960	.008	.011	2
713	Goudswaard HK	51.7953	4.2758	1.37	.00	981224.878	.008	.012	2
721	Ouwerkerk HK	51.6261	3.9831	2.15	.00	981215.932	.008	.013	2
722	Kerkwerpe HK	51.6864	3.8998	.81	.00	981220.728	.008	.009	2
723	Zierikzee STLI	51.6501	3.9147	2.24	.00	981217.646	.008	.013	2
732	Middelburg HK	51.4993	3.6145	4.32	.00	981204.680	.007	.010	2
733	Vlissingen NHK	51.4427	3.5739	2.51	.00	981199.211	.007	.009	2
741	Nieuw-Namen RK	51.2930	4.1605	5.04	.00	981184.553	.007	.011	2
742	Clinge RK	51.2694	4.0895	2.56	.00	981182.435	.008	.009	2
743	Hulst RAADHS	51.2796	4.0542	2.87	.00	981183.196	.008	.012	2
751	Weert HK	51.2536	5.7066	35.00	.00	981146.953	.007	.010	2
752	Soerendonk RK	51.3025	5.5739	28.84	.00	981156.863	.008	.009	2
753	Maarheze RK	51.3083	5.6069	30.29	.00	981155.989	.007	.010	2
761	Kronenberg RK	51.4154	6.0006	29.81	.00	981183.140	.007	.011	2
762	Hegelsom RK	51.4372	6.0375	26.79	.00	981185.071	.008	.008	2
763	Lottum RK	51.4618	6.1622	19.74	.00	981189.320	.007	.010	2
771	Heer RK	50.8404	5.7273	57.69	.00	981120.174	.007	.010	2
772	Banholt RK	50.7899	5.8098	183.59	.00	981090.408	.007	.024	2
781	Gilze RK	51.5412	4.9413	18.49	.00	981195.175	.006	.009	6
782	Rijen RAADHS	51.5900	4.9119	9.00	.00	981198.846	.006	.009	4
783	Dongen RK	51.6251	4.9470	6.09	.00	981200.340	.007	.009	2

Vergelijking van de vier netten en het maken van NEDZWA93

	Station	TUD	RWS87	NED91	NED93	NEDZWA93	rms
25	Assen NS	-.001 .007 12		-.005 .006 31		981317.989 .005 43	.004
26	Gasselte NH	.006 .007 22		-.009 .007 23		981313.924 .005 47	.008
30	Zwolle NS	-.001 .007 34			.000 .008 4	981289.882 .005 38	.001
33	Westerbork abs	-.009 .009 2		-.001 .006 67	-.007 .007 4	981309.118 .005 73	.007
42	Amersfoort NS	-.002 .007 22			.008 .007 8	981259.134 .005 30	.006
85	Delft GEO1-BIN	.000 .006 55	-.011 .011 2	.001 .007 29	.011 .006 22	981240.735 .005 109	.008
86	Delft GEO2-BUI	.001 .006 52	-.001 .007 28			981241.029 .005 81	.001
100	Apeldoorn NS	-.005 .007 20		.012 .006 18	.002 .006 12	981259.407 .005 49	.008
102	Kootwijk pijler	.021 .008 4		-.003 .007 6		981248.607 .006 7	.015
103	Kootwijk abs	.005 .007 7		-.002 .006 97	.005 .005 30	981250.893 .005 134	.004
135	Middelburg NS	.000 .007 9	-.017 .011 1			981204.691 .006 12	.012

vervolg →

Tabel 5.4: Verschillen van TUD, RWS87, NED91 en NED93 ten opzichte van NEDZWA93, inclusief standaardafwijking en aantal waarnemingen.

Eerste orde zwaartekrachtnet van Nederland en NEDZWA93

vervolg tabel 5.4

	Station	TUD	RWS87	NED91	NED93	NEDZWA93	rms
140	Eindhoven NS	.000 .007 30			-.003 .006 20	981166.775 .005 50	.002
150	Maastricht NS	.000 .007 21	-.009 .008 4		-.003 .006 12	981126.574 .005 39	.005
152	Epen Rozenhof	-.028 .019 2			.002 .006 11	981093.465 .006 13	.020
153	Epen abs	-.010 .025 1			-.002 .005 64	981100.558 .005 65	.007
160	Heerlen NS	-.003 .007 14			.005 .006 12	981118.970 .005 26	.004
72	Loenerm.B.WEST		-.002 .007 30		.007 .007 8	981241.295 .005 42	.005
200	Aken TU		-.001 .006 6		.004 .006 8	981094.917 .005 14	.003
210	Aken Adalbertkerk	.011 .012 1	.000 .006 6		.000 .007 4	981097.096 .005 11	.006
430	Eben-Emael		.002 .007 6		-.012 .007 7	981114.540 .005 13	.009
630	Gasselte OM		-.003 .007 9	.001 .008 8		981314.702 .005 21	.002
680	Amersfoort OM		.006 .007 25	-.012 .007 19	-.001 .007 8	981251.923 .005 56	.008

vervolg →

Vergelijking van de vier netten en het maken van NEDZWA93

vervolg tabel 5.4

	Station	TUD	RWS87	NED91	NED93	NEDZWA93	rms
770	St.Geertrui OM		.002		-.014	981111.903	.010
			.007		.006	.005	
			27		8	39	
893	Bentheim SCHOOL		-.003	.003	-.005	981270.609	.004
			.008	.007	.009	.005	
			6	18	4	28	
898	Bentheim KASTEEL	-.006	-.002			981267.289	.004
		.014	.008			.006	
		2	6			8	

Varianties en covarianties

In deze paragraaf worden de varianties en covarianties van de NEDZWA93 zwaartekrachtwaarden gegeven. Dit wordt gedaan in verschillende groepen punten. Ten eerste omdat bepaalde punten meer met elkaar te maken hebben dan met andere, en ten tweede omdat de volledige matrix van alle punten niet op 1 bladzijde past. De covariantiematrices worden gegeven als correlatiematrix. De werkelijke variantie/covariantiewaarden kan men berekenen met behulp van de gegeven standaardafwijkingen in tabel 5.2. De correlatiewaarden ρ zijn dimensieloze grootheden die worden uitgerekend via $\rho = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$. Wanneer de standaardafwijking van twee punten x en y , σ_x en σ_y , bijvoorbeeld gelijk zijn aan 0.010 mgal dan kan men de volgende standaardafwijkingen vinden voor het verschil van x en y .

ρ	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.3	0.0
σ_{x-y} (mgal)	0.000	0.004	0.006	0.008	0.009	0.010	0.012	0.014

De eerste correlatiematrix is voor de NS-stations punten. De nummers verwijzen naar de puntnummers in tabel 5.2.

10	1.0
15	.9 1.0
20	.8 .8 1.0
25	.8 .8 .9 1.0
30	.9 .9 .9 .9 1.0
33	.8 .8 .8 .9 .8 1.0
40	.8 .8 .8 .8 .9 .8 1.0
42	.8 .8 .8 .8 .9 .8 .9 1.0
50	.7 .7 .7 .7 .8 .7 .8 .8 1.0
60	.7 .8 .7 .8 .8 .7 .9 .8 .9 1.0
70	.8 .8 .8 .8 .9 .8 .9 .9 .8 .9 1.0
81	.8 .8 .8 .8 .9 .8 .9 .9 .8 .9 .9 1.0
85	.8 .8 .8 .8 .9 .8 .9 .9 .8 .8 .9 .9 1.0
86	.8 .8 .8 .8 .9 .8 .9 .9 .8 .9 .9 .9 1.0 1.0
90	.7 .8 .7 .8 .8 .7 .8 .8 .7 .7 .8 .8 .8 .8 1.0
95	.7 .7 .7 .7 .8 .7 .8 .8 .7 .7 .7 .8 .8 .8 .9 1.0
100	.8 .8 .8 .8 .9 .8 .9 .9 .8 .8 .9 .9 .9 .9 .9 .8 1.0
103	.8 .8 .8 .8 .9 .8 .9 .9 .8 .8 .9 .9 .9 .9 .8 .8 .9 1.0
105	.8 .8 .8 .8 .9 .8 .8 .8 .7 .8 .8 .8 .8 .8 .9 .8 .9 .8 1.0
110	.8 .8 .8 .8 .9 .8 .9 .9 .8 .8 .9 .9 .9 .9 .8 .7 .9 .9 .8 1.0
120	.8 .8 .8 .8 .9 .8 .9 .9 .8 .8 .9 .9 .9 .9 .8 .7 .9 .9 .8 .9 1.0
130	.7 .7 .7 .7 .8 .7 .8 .8 .7 .7 .8 .8 .8 .8 .7 .7 .8 .8 .7 .8 .9 1.0
135	.7 .7 .7 .7 .8 .7 .8 .8 .7 .7 .8 .8 .8 .8 .7 .6 .8 .8 .7 .8 .8 .9 1.0
140	.8 .8 .8 .8 .8 .7 .9 .8 .8 .8 .8 .9 .9 .9 .8 .7 .8 .9 .8 .9 .9 .8 .8 1.0
150	.7 .7 .7 .7 .8 .7 .8 .8 .7 .7 .8 .8 .8 .8 .7 .7 .8 .8 .7 .8 .8 .7 .7 .9 1.0
153	.6 .6 .6 .6 .7 .6 .7 .7 .6 .6 .7 .7 .7 .7 .6 .6 .7 .7 .7 .7 .7 .6 .6 .8 .8 1.0
160	.7 .7 .7 .7 .8 .7 .8 .8 .7 .7 .8 .8 .8 .8 .7 .6 .8 .8 .7 .8 .8 .7 .7 .9 .8 1.0
	10 15 20 25 30 33 40 42 50 60 70 81 85 86 90 95 100 103 105 110 120 130 135 140 150 153 160

Eerste orde zwaartekrachtmetingen van Nederland en NEDZWA93

Tenslotte wordt voor enkele punten uit het TUD net en het RWS net bekeken wat de correlaties zijn.

86	1.0											
72	.9	1.0										
580	.8	.8	1.0									
620	.7	.7	.8	1.0								
660	.8	.8	.8	.7	1.0							
780	.9	.8	.8	.7	.7	1.0						
10	.8	.8	.8	.8	.8	.7	1.0					
20	.8	.8	.8	.7	.8	.7	.8	1.0				
50	.8	.7	.8	.7	.7	.7	.7	.7	1.0			
42	.9	.8	.8	.7	.8	.8	.8	.8	.8	1.0		
100	.9	.9	.8	.7	.8	.8	.8	.8	.8	.9	1.0	
140	.9	.8	.8	.7	.8	.8	.8	.8	.8	.8	.8	1.0
	86	72	580	620	660	780	10	20	50	42	100	140

Over het algemeen zijn de correlaties vrij groot tussen alle hoofdpunten. Zowel voor de hoofdpunten van TUD als die van RWS zijn de correlaties zelden kleiner dan 0.7. De twee punten in het Geodesie gebouw in Delft, 85 en 86, zijn zelfs bijna 100% gecorreleerd. Dat betekent dat het verschil met een extreem goede precisie bekend is. Uit de laatste tabel blijkt dat ook de hoofdpunten van TUD en RWS onderling vrij sterk gecorreleerd zijn. Als men uit tabel 5.2 leest dat de standaardafwijking van de hoofdpunten gemiddeld 0.005-0.006 mgal is, dan zal het zwaartekrachtverschil bekend zijn met een standaardafwijking van ongeveer 0.003-0.004 mgal. Men moet dan echter wel rekening houden dat een kleine schaalfout in het net (zoals eerder ook al opgemerkt) aanwezig kan zijn, die ook van deze orde van grootte kan zijn. Dit komt overeen met een verandering van de schaalfactor van G785 van 1.02206 naar 1.02208. Er zijn meer absolute metingen nodig om deze onzekerheid kleiner te maken.

Men ziet verder dat de correlatie van het hoofdpunt met zijn excentrische punten vrij groot is (0.7-0.8), terwijl de correlaties van hoofdpunten met andere excentrische punten kleiner is. Dit is logisch, want de excentrische punten worden alleen verbonden met hun eigen hoofdpunt. Door de correlaties tussen de hoofdpunten ontstaat er echter wel een correlatie van excentrische punten met andere hoofdpunten, maar die is dan wel wat kleiner.

Conclusies

Het totaal resultaat van NEDZWA93 ziet er erg goed uit. De standaardafwijkingen van de zwaartekrachtwaarden zijn klein en de betrouwbaarheid is goed te noemen. De overeenkomst met de onafhankelijke waarden in België is ook goed. De zwaartekrachtverschillen komen goed overeen met de zwaartekrachtverschillen van DSGN76. Deze NEDZWA93 waarden vormen een prima basis voor het aansluiten van het Nederlandse tweede orde zwaartekrachtnet.

De metingen die zijn gebruikt voor het berekenen van NEDZWA93 zijn afkomstig van vier onafhankelijke series metingen. Dit mag wat rommelig aandoen, het resultaat is er niet minder om. Doordat het punt Delft in beide netten van TUD en RWS voorkomt, en enkele punten van het TUD net zijn opgenomen in het RWS excentrische net en de metingen van NED91 en NED93 verbindingen leggen met TUD en RWS punten, is een dataset ontstaan die alle punten stevig met elkaar verbindt. Dit kan ook worden gelezen uit de correlatiecoëfficiënten.

De schaalfactorcorrectie die wordt toegepast op de Nederlandse gravimeters is in overeenstemming met wat je mag verwachten op basis van buitenlandse instrumenten. Men mag dus aannemen dat een eventuele schaalfout minimaal is.

Het verschil in de absolute waarden op het punt in Kootwijk van 0.017 mgal is meetruis. Alhoewel men graag zou geloven dat absolute metingen een kleinere standaardafwijking hebben dan 0.010 mgal lijkt dat toch niet zo te zijn. Het verschil van 0.017 mgal is acceptabel als men dit vergelijkt met de standaardafwijking van het verschil 0.014 mgal.

De precisie van de NEDZWA93 waarden is 0.005-0.006 mgal. Dit is een belangrijk gegeven bij het plannen van nieuwe meetcampagnes ten behoeve van de registratie van bodembeweging en absolute zwaartekrachtverandering.

6 Onderzoek naar de mogelijkheid tot het vormen van één eerste orde net in Nederland

Zoals duidelijk is geworden uit de voorgaande hoofdstukken bestaan er in Nederland nu twee eerste orde zwaartekrachtnetten, een TUD net en een RWS net. Er zal hier niet worden ingegaan op de redenen hiervan. Het is wenselijk om over te gaan naar (slechts) één eerste orde zwaartekrachtnet. Alvorens een opzet van zo'n eerste orde net te geven moet eerst worden bekeken wat de eisen aan zo'n net zijn en welke voorwaarden er gelden voor het kunnen meten van zo'n net.

Het doeleinde van het eerste orde net zal zijn om verandering van zwaartekracht in de tijd waar te nemen. Een tweede belangrijk doel van eerste orde netten, namelijk het fungeren als basis van lagere orde netten, is in Nederland niet meer nodig. De laatste metingen voor het tweede orde net zijn in 1994 gedaan, en NEDZWA93 dient als basis voor de aansluiting. Er zal zeer waarschijnlijk geen tweede keer een tweede orde net worden gemeten gedurende de komende 50 jaar, omdat het huidige net voldoet voor preciese geoïdeberekening.

De registratie van zwaartekracht in de tijd is een goede manier om absolute bodembeweging te bepalen. Met waterpassen kan alleen relatieve bodembeweging worden waargenomen. Relatieve gravimetrie kan daarbij een onafhankelijke controle zijn op waterpasmetingen en GPS metingen. Aangezien Rijkswaterstaat geïnteresseerd is in zowel landelijke bodembeweging als regionale bodembeweging, is een eerste orde zwaartekrachtnet van belang. Het is daarbij vooral van belang dat de levensduur van de meetpunten gegarandeerd is. Dit is een reden geweest om het oorspronkelijke RWS net op OM te meten. In hoofdstuk 3 is al genoemd dat de meetomstandigheden van de OM de te bereiken precisie nadelig beïnvloed.

De TU Delft heeft ook haar net opgezet en steeds hermeten om eventuele veranderingen in de tijd waar te nemen. Men wil of kan daar echter weinig geld en tijd voor vrijmaken waardoor gekozen is voor de NS-stationspunten. Het gevaar van deze punten is dat ze verstoord kunnen raken over een termijn van enkele decennia. Toch wil de TUD op deze manier door blijven meten.

Eén eerste orde net

Op basis van de hierboven genoemde eisen en doelen is een schematische nieuwe netwerkopzet gemaakt. Alle punten staan getekend in figuur 6.1. Enkele punten uit het oude RWS net zullen vervallen omdat ze niet voldoen aan de eisen. Verder zijn er ongeveer 20 nieuwe punten bijgekomen om een betere bedekking te krijgen voor regionale bodembewegingsregistratie. Alle overige RWS en TUD punten blijven in stand. Het meetschema dat bij dit nieuwe eerste orde zwaartekrachtmetnet van Nederland hoort is nog niet helemaal gereed. Wat wel al is berekend is hoe de verbindingen van de bestaande RWS en TUD punten plaats moeten vinden. Daarbij is eerst een meetschema gemaakt van de TUD punten uit de gemeten schema's van de afgelopen jaren. Bij de verkenningsberekening daarvan is duidelijk geworden dat de verbindingen met de punten in Noord Holland en met de punten in Friesland, Groningen en Drente niet erg betrouwbaar zijn. Dit laatste komt ook doordat alle punten altijd via Zwolle worden bepaald. Daarom is een extra (zesde) meetdag toegevoegd waarbij verbindingen tussen Noord Holland (Alkmaar, Den Helder) met Leeuwarden, Groningen en Heerenveen worden gemeten. Hiermee neemt de betrouwbaarheid van alle metingen en punten in Noord Nederland toe. Een meting met één instrument geeft een externe betrouwbaarheid van ongeveer 0.050 mgal voor deze punten, na toevoeging van de extra meetdag wordt dit ongeveer 0.020 mgal. Meet men het net met drie instrumenten dan verandert de externe betrouwbaarheid met een factor twee van 0.010 mgal naar 0.005 mgal. Hiermee krijgen alle punten een externe betrouwbaarheid tussen 0.004 en 0.007 mgal.

Daarnaast is uitgegaan van het bestaande RWS schema. Bij de bepaling van NED-ZWA93 kon gebruik worden gemaakt van NED91 en NED93 om een verbinding te leggen met de TUD punten, dit echter moet worden gezien als een geïmproviseerde oplossing. Het verdient aanbeveling om een structurele verbinding tussen TUD punten en RWS punten te creëren. Dit zal zonder veel tijdverlies kunnen worden gedaan doordat op de NS stations met drie of vier instrumenten tegelijk kan worden gemeten. Het bestaande meetschema van RWS hoeft niet te worden aangepast. Binnen het bestaande schema bleek het vrij eenvoudig om metingen op enkele NS stations op te nemen. Daarbij is gekozen voor de stations in Groningen, Alkmaar, Hengelo, Middelburg en Maastricht.

Men zou nu de realisatie van een waardebepaling van alle eerste orde punten kunnen definiëren als een berekening op basis van metingen van het gehele net met drie instrumenten. In de praktijk zou dan de TUD een deel van het net kunnen meten, en RWS het overige deel voor zijn rekening kunnen nemen. De TUD zou dan ieder jaar met één instrument alle NS-stations van het eerste orde net kunnen bezoeken volgens het genoemde meetschema. RWS kan dan iedere 3-5 jaar met drie instrumenten het deel met OM en de nieuwe punten en enkele NS-stations kunnen meten. Deze

Eerste orde zwaartekrachtnet van Nederland en NEDZWA93

metingen worden dan bij elkaar gevoegd. Op deze manier voldoet het nieuwe net aan de praktische voorwaarden voor metingen (en geld en tijd) en ontstaat toch één kwalitatief goed zwaartekrachtnet.



Figuur 6.1: *Mogelijke stations van het eerste orde zwaartekrachtnetwerk van Nederland.*

Men kan zich afvragen of het enkele deel van RWS niet zou voldoen. Hiervoor is gekeken naar de nauwkeurigheid van de resultaten van beide delen afzonderlijk en van het geheel. Daarbij is uitgegaan dat de instrumenten een standaardafwijking hebben van 0.012 mgal. Uit deze berekening blijkt dat zowel de precisie als de betrouwbaarheid van de resultaten verbetert. De standaardafwijking verbetert een beetje, de betrouwbaarheid verbetert flink. Voor sommige punten wordt de externe betrouwbaarheid een factor 2 beter (van 0.008 mgal naar 0.004 mgal). Het heeft dus wel degelijk zin om de beide delen van TUD en RWS onderdeel te laten zijn van het eerste orde net. De TUD punten moeten worden vastgelegd in het NAP-systeem.

Een verdere aanpassing van het meetschema om de nieuwe punten op te nemen kan nu worden uitgevoerd. Wat de keuze van deze nieuwe punten betreft verdient het aanbeveling om plaatsen te kiezen die langdurig zullen blijven bestaan en waar met meerdere instrumenten tegelijk kan worden gemeten. Bovendien verdient het de voorkeur dat deze plaatsen bescherming bieden tegen weers- en verkeersinvloeden. Men kan daarbij denken aan kerkportalen, zoals die ook zijn gebruikt in Groot-Brittannië, of ruimten van instituten e.d. Deze laatsten zijn echter 's avonds niet toegankelijk.

Tenslotte dient onderzocht te worden of het vervoer per auto kan worden verbeterd. Met de bestaande OM punten is vervoer per auto onvermijdelijk, zodat dient te worden getracht dit vervoer zo optimaal mogelijk te laten plaats vinden. Speciale constructies om het zwaartekrachtinstrument zoveel mogelijk trillingsvrij te verplaatsen dienen te worden gemaakt.

Absolute punten

Met een netwerk als in de vorige paragraaf beschreven kan relatieve bodembeweging worden geregistreerd met de maximaal haalbare precisie wat zwaartekrachtmetingen betreft. Naast de relatieve verandering is men ook geïnteresseerd in absolute veranderingen van de bodem. Naast een eventuele kanteling van Nederland kan heel Nederland ook nog omhoog of omlaag gaan. Absolute gravimetrie is de enige meetmethode om dat vast te stellen.

In theorie is één enkel absoluut punt voldoende om dit vast te stellen. In de praktijk bestaat er echter meetruis die vrij groot is (0.010 mgal) in verhouding met het signaal dat men bekijkt. Als men meerdere absolute punten heeft kan een goed relatief zwaartekrachtmetnet een aanzienlijke precisie verbetering opleveren. Men heeft dus 2 of meer absolute punten nodig.

Daarnaast wil men niet het risico lopen dat een absolute zwaartekrachtverandering op een absoluut punt alleen maar een lokaal effect is. Ook daaraan kan een relatief zwaartekrachtmetnet met meerdere punten bijdragen. Als de berekende waarden voor

alle relatieve punten rondom een absoluut punt plotseling evenveel veranderen kan men gevoelig aannemen dat er een regionale verandering van de zwaartekracht is opgetreden. Verandert er echter alleen iets op dat absolute punt zelf, dat wordt bevestigd door de relatieve metingen, dan zal er sprake zijn van een lokaal effect. Als men alleen de absolute waarden zou gebruiken dan zou een verkeerde interpretatie het gevolg kunnen zijn.

Het verdient dus aanbeveling niet alleen losse absolute metingen te doen maar ook een koppeling met het totale relatieve eerste orde net te realiseren. Dit geeft dan tegelijkertijd voor alle eerste orde punten een goede absolute waarde. Met drie absolute punten is een redelijke verbinding mogelijk. Men kan dan denken aan de bestaande absolute punten Epen, Kootwijk en Westerbork. Beter is het om het risico van meetruis van de absolute punten nog meer te spreiden en bijvoorbeeld 5 punten te meten, waarbij men bijvoorbeeld zou kunnen denken aan Epen, Eindhoven/Weert, Kootwijk, Westerbork en Aurich. De precisie die hiermee wordt bereikt is dan gemiddeld $\sigma = 0.006$ mgal en de externe betrouwbaarheid is 0.008 mgal, terwijl dat met de genoemde drie absolute punten respectievelijk $\sigma = 0.007$ mgal en 0.014 mgal is.

Excentrische punten

Wat de excentrische metingen van de RWS hoofdpunten betreft kan worden opgemerkt dat ze in de huidige situatie niet voldoen. Zowel de precisie als de betrouwbaarheid zijn dusdanig laag dat een eventuele correctie voor een hoofdpuntverstoring niet op basis van de excentrische punten kan plaats vinden, en dit dus via andere hoofdpunten moet plaatsvinden wat veel tijdrovender en duurder is en wat bovendien ongewenst is. Men wil juist de zwaartekrachtveranderingen tussen deze punten bepalen. Wil men de excentrische punten daadwerkelijk laten functioneren dan zal een betere verbinding gemeten moeten worden, liefst met meerdere instrumenten.

Volgens de huidige opzet van de excentrische metingen heeft men voor de excentrische punten een standaardafwijking van 0.006 mgal ten opzichte van de hoofdpunten en een externe betrouwbaarheid van 0.012 mgal. Bovendien zijn de lokale overtaligheidsgetallen kleiner dan 0.7. Meet men per hoofdpunt met twee instrumenten twee keer een kring, dan ontstaat een precisie van 0.004 mgal, en een betrouwbaarheid van 0.006 mgal. Meet men met 1 instrument drie kringen in plaats van twee, dan wordt $\sigma = 0.005$ mgal en de externe betrouwbaarheid is 0.008 mgal. Meet men met twee instrumenten drie kringen dan ontstaat een precisie van 0.003 mgal, en een betrouwbaarheid van 0.004 mgal. De lokale overtaligheidsgetallen zijn groter dan 0.7, bij de laatste optie (drie kringen met twee instrumenten) zelfs groter dan 0.8.

Conclusies

In dit hoofdstuk is getoond hoe één nieuw eerste orde zwaartekrachtnet eruit zou kunnen zien en hoe de metingen daarvoor zouden kunnen worden uitgevoerd. Het doeleinde van registratie van absolute en relatieve zwaartekrachtveranderingen kan hiermee goed worden bereikt gezien de huidige technische stand van zaken op gravimetriegebied. Voor het scheiden van werkelijke bodembeweging en lokale effecten is het noodzakelijk om de hoofdpunten precies en betrouwbaar te koppelen aan excentrische punten. Nieuwe punten in het eerste orde net dienen te voldoen aan een aantal belangrijke eisen:

- Goed bereikbaar met auto en/of trein.
- Een stevige, stabiele ondergrond voor een goede instrument opstelling.
- Niet dicht bij een drukke verkeersweg.
- Goede toegankelijkheid, ook buiten werkuren.
- Overdekt, en een zo goed mogelijke bescherming tegen windinvloeden.
- Meerdere instrumenten moeten tegelijk kunnen worden opgesteld en bediend.
- Goede, 'comfortabele' bedieningsmogelijkheden voor de waarnemer.
- Beschikbaar blijven voor meerdere decennia.

Kerkportalen (niet te ondiep) komen hiervoor in aanmerking. Wellicht kunnen met informatie van de Stichting Monumentenzorg de juiste gebouwen worden geselecteerd.

7 Conclusies

In dit verslag is het eerste nationale zwaartekrachtdatum voor Nederland bepaald. Dit NEDZWA93 zal dienen als referentie voor alle tweede orde metingen die momenteel worden gedaan door de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat.

Het zal duidelijk zijn dat de opzet van het NEDZWA93 niet echt georganiseerd is gegaan. Er is niet een totaalplanning vooraf geweest, waarin duidelijk een doel is gesteld over hoeveel punten en met welke kwaliteit nu eigenlijk gewenst zijn. Bovendien zijn geen testmetingen gedaan om uit te vinden hoeveel metingen met hoeveel instrumenten nodig zijn om een bepaald doel te bereiken. Er zijn echter sinds 1984 vrij veel zwaartekrachtmetingen gedaan op de hiervoor genoemde stations, waarvan er velen, zoals later wordt getoond, van vrij goede kwaliteit zijn. Op basis van alle bij elkaar verzamelde metingen is het toch mogelijk gebleken om een goede kwaliteit van het eindresultaat, absolute waarden voor de eerste orde punten, te bereiken. Het zou goed zijn als er een goede beschrijving komt van alle eerste orde punten zoals dat ook gedaan is in Duitsland voor DSGN67 (Sigl e.a., 1981).

Verder wordt in dit verslag een beschrijving gegeven van alle relatieve eerste orde zwaartekrachtmetingen die in Nederland zijn gedaan en worden de resultaten gegeven. Deze resultaten worden hiermee voor het eerst gepubliceerd.

Uit de verschillende deelnetten kunnen enkele conclusies worden getrokken. Uit een vergelijking van TUD en NED91/93 metingen blijkt dat vervoer met de trein een voordelige invloed heeft op het uiteindelijke resultaat. Tests met speciale voorzieningen kunnen mogelijk uitwijzen dat ook het vervoer met auto's betere resultaten kan opleveren dan tot nu toe te zien is. De RWS87 resultaten zijn beter in vergelijking met die van NED91/93, terwijl ook deze metingen met de auto zijn verricht. Een mogelijke reden hiervoor is dat de gebruikte instrumenten relatief stabiel zijn in vergelijking met de instrumenten die gebruikt zijn bij NED91/93. Bovendien zijn de metingen uitgevoerd door een vaste meetploeg, hetgeen ook zeker een positief effect heeft op de kwaliteit van het resultaat.

De resultaten van RWS90 zijn onbruikbaar. Om verschillende redenen valt een zeer groot deel van de waarnemingen af bij de uiteindelijke berekening. Het resultaat dat overblijft is onvoldoende voor eerste orde toepassingen. Enkele redenen zijn

het inzetten van niet goed functionerende gravimeters, wat niet vooraf is getest, en het inzetten van verschillende meetploegen. Sommige van deze meetploegen hadden zelfs geen enkele ervaring met gravimetrie. Het verdient dus aanbeveling dat bij toekomstige eerste orde metingen één, ervaren meetploeg wordt ingezet.

De absolute waarden die zijn bepaald in 1991 en 1993 worden bevestigd en versterkt door de relatieve metingen. Het gekozen punt in Delft bleek door lokale horizontale trillingen niet te voldoen voor absolute zwaartekrachtbepaling. Het punt in Epen bleek buitengewoon goed te zijn om absolute metingen te verrichten. Door de vestiging van het seismisch station op het Carboon is een van de meest stabiele stations in Europa gecreëerd. De twee waarden die zijn bepaald in Kootwijk liggen vrij ver van elkaar (0.017 mgal), maar dit past binnen de standaardafwijking. Door combinatie met de relatieve metingen is duidelijk geworden dat er geen sprake is van een significante zwaartekrachtverandering.

Ondanks de uiteindelijk goede kwaliteit van de NEDZWA93 waarden is toch geconcludeerd dat het naast elkaar bestaan van 2 eerste orde netten niet logisch is. Het is goed mogelijk om één net te maken dat aan alle wensen en eisen van nu en de toekomst kan voldoen. Het is dus aan te bevelen zo spoedig mogelijk over te gaan naar dit net en hiervan een goede en eenduidige beschrijving te maken. Deze taak zal moeten worden gedeeld door de Meetkundige Dienst van RWS en de Faculteit der Geodesie van de TUD. De metingen kunnen (voorlopig) door de Faculteit der Geodesie worden verwerkt, zoals ook in het verleden gebeurd is. De uitgave van zwaartekrachtwaarden en puntbeschrijvingen kan worden verzorgd door de afdeling NAP van de Meetkundige Dienst (tel. 015-691111) waaronder ook de NEDZWA93 waarden.

8 Literatuur

- Boedecker G., B. Richter *Das Schweregrundnetz 1976 der Bundesrepublik Deutschland (DSGN76); Teil II, Netzentwurf, instrumentelle Vorarbeiten und Datenaufbereitung* Deutsche Geodätische Kommission, Reihe B, Heft Nr. 271, München, 1984
- Boedecker G., B. Richter *Das Schweregrundnetz 1976 der Bundesrepublik Deutschland (DSGN76); Teil III, Daten und Ausgleichung* Deutsche Geodätische Kommission, Reihe B, Heft Nr. 286, München, 1987
- Bulletin d'Information BGI, No 68, Juin, 1991
- Löwik J.S.M. *Het eerste orde zwaartekrachtmetingen van Nederland* NGT Geodesia, nr 7/8, 1989
- Min E.J. de, P. Plugers *Relatieve zwaartekrachtmetingen* NGT Geodesia, nr 2, 1993
- Ree R.E. van *Absolute zwaartekracht in Nederland* afstudeerscriptie faculteit der Geodesie, Technische Universiteit Delft, 1991
- Sigl R., W. Torge, H. Beetz, K. Stuber *Das Schweregrundnetz 1976 der Bundesrepublik Deutschland (DSGN76); Teil I, Entstehung, Ergebnisse und Punktbeschreibungen* Deutsche Geodätische Kommission, Reihe B, Heft Nr. 254, München, 1981
- Strang van Hees G.L. *Adjustment and testing of geodetic networks in Radiopositioning at sea*, 1985
- Strang van Hees G.L., G. Lorenz, L. Timmen, E.J. de Min *Absolute gravity measurements in the Netherlands 1991-1993* Netherlands Commission for Geodesy, new series, 1995

A Instrumentgegevens

Tabel A.1 geeft de ijkfactoren voor de gebruikte instrumenten. Elk instrument heeft één schaalfactor die gebruikt wordt voor het gehele instrumentbereik. Er worden correcties uitgerekend en aangebracht aan de waarnemingen aangezien de schaalfactor voor elk afleesgebied eigenlijk steeds een beetje anders is. De parameters s_0 , s_1 en s duiden respectievelijk aan de schaalfactor van de fabrikant (voor aflezing 4600), de correctiefactor en de uiteindelijk schaalfactor (voor 4600).

Voor sommige instrumenten zijn ook feedback-parameters nodig omdat het feedback-systeem gebruikt is voor metingen. Deze parameters worden aangeduid met $srwl$ en $srwq$ (resp. lineaire en kwadratische factor).

Voor D gravimeters dienen lineaire, kwadratische en cubische factoren te worden toegepast op de waarneming zelf. Deze staan in de tabel onder Y_1 , Y_2 en Y_3 .

Instrument	Datum	s_0	s_1	s	$srwl$	$srwq$	Y_1	$Y_2 \cdot 10^{-4}$	$Y_3 \cdot 10^{-6}$
G258	6-84	1.06705	1.000750	1.06785	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
G785	10-85	1.02121	1.000835	1.02206	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
G754	9-87	1.02575	1.000653	1.02642	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
G686	9-87	1.02406	1.000459	1.02453	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
G754	11-87	1.02575	1.000731	1.02650	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
G563	9-90	1.02850	1.000778	1.02930	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
G754	9-90	1.02575	1.000653	1.02642	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
G587	9-90	-	-	1.02495	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
G867	9-90	-	-	1.01363	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
G785	1-91	1.02121	1.000835	1.02206	1.001584	0.000223	1.0	0.0	0.0
G709	10-91	0.97809	1.000707	0.97878	1.018166	-0.000391	1.0	0.0	0.0
D014	10-91	1.0294	1.000000	1.0294	0.992653	-0.000005	0.999077	0.10817	-0.02845
G785	11-91	1.02121	1.000835	1.02206	1.001086	0.000181	1.0	0.0	0.0
G971	11-91	1.01107	1.000633	1.01171	0.997785	-0.000048	1.0	0.0	0.0
D059	7-92	1.2480	1.000000	1.2480	1.0	0.0	0.999620	0.547	0.339
G079	2-93	1.03805	1.000144	1.03820	0.996234	0.000430	1.0	0.0	0.0
G298	2-93	1.05899	1.000773	1.05981	1.011842	-0.000648	1.0	0.0	0.0
G709	2-93	0.97809	1.000712	0.97879	1.020685	-0.000193	1.0	0.0	0.0
G785	3-93	1.02121	1.000835	1.02206	1.001001	0.000227	1.0	0.0	0.0
G971	3-93	1.01107	1.000633	1.01171	0.999885	-0.000143	1.0	0.0	0.0

Tabel A.1: *Schaalfactoren en feedback ijkfactoren voor de gebruikte instrumenten bepaald op verschillende tijdstippen.*

B Mathematisch model voor de vereffening van zwaartekrachtnetwerken

Voor de berekening van absolute zwaartekrachtwaarden, een gecorrigeerde schaal en instrumentdrift zijn waarnemingen en een mathematisch model nodig. De waarnemingen zijn de verschilaflezings van een gravimeter, een voldoende goede benadering van de instrumentschaal en andere calibratiefactoren voor de instrumentaflezing en de feedbackaflezing en minstens één bekende zwaartekrachtwaarde. Het model dat de relatie tussen deze waarnemingen en de onbekenden beschrijft ziet er als volgt uit:

$$\begin{aligned}
 & (read_j * fac1 + read_j^2 * fac2 + read_j^3 * fac3 + cor_j * srwl + cor_j^2 * srwq + \\
 & \sum_{k=1}^4 (x_k \cos(\frac{2\pi read_j}{p_k}) + y_k \sin(\frac{2\pi read_j}{p_k}))) * scale + tide_j + corl_j \\
 & - (read_i * fac1 + read_i^2 * fac2 + read_i^3 * fac3 + cor_i * srwl + cor_i^2 * srwq + \\
 & \sum_{k=1}^4 (x_k \cos(\frac{2\pi read_i}{p_k}) + y_k \sin(\frac{2\pi read_i}{p_k}))) * scale - tide_i - corl_i \\
 & = g_j - g_i + \frac{\Delta t}{24} * drift.
 \end{aligned}$$

Hierbij is *read* de instrument aflezing, *cor* de feedbackaflezing, *fac1* is de lineaire factor voor de instrumentaflezing, *fac2* en *fac3* zijn respectievelijk de kwadratische en cubische factor, *srwl* is de lineaire factor voor de feedbackaflezing, *srwq* is de kwadratische factor voor deze aflezing, x_k en y_k zijn de amplitudes voor de cyclische correcties voor de 4 periodes p_k . De lineaire schaal van het instrument is *scale*, terwijl met *tide* het aardgetijden effect in milligal wordt beschreven. Met *corl* worden de overige correcties in milligallen (zoals reducties naar de juiste hoogte van het meetpunt) beschreven. g is de te bepalen zwaartekracht en *drift* beschrijft de drift van de gravimeter in mgal/dag. De drift onbekende wordt constant verondersteld van een langere periode, bijvoorbeeld enkele weken. Deze periode correspondeert met de gebruikte letters achter het instrumentnummer. Het voordeel van het gebruik van afleesverschillen tussen kort na elkaar gemeten waarden is dat de lang periodieke drift er uit vallen. Ook sprongen kunnen hiermee uit de waarnemingsreeks worden geëlimineerd.

Het betekent dus dat de aflezing van het instrument en het feedback systeem, omgerekend van instrumenteenheden naar milligallen en gecorrigeerd voor getijdenefecten (en andere correcties die berekend kunnen worden) de zwaartekracht geeft plus de drift van het instrument. En dat is inderdaad wat er wordt gemeten dus het model heeft duidelijk een fysische betekenis. Doordat de metingen een bepaalde meetruis bezitten dient in het model ook de correctie aan de waarneming te worden opgenomen. Deze correcties worden bepaald in de vereffening.

Bij het model in vereffeningprogramma **grav2** willen we ook nog een correctie aan de schaalfactor bepalen. We gaan er van uit dat geldt $scale = scale^0 * (1 + dscale)$. De onbekenden in het model die moeten worden bepaald zijn onderstreept. Het model verandert dan in (met inbegrip van de meetruis ε)

$$\begin{aligned} & (gr_j - gr_i) * scale^0 + tide_j - tide_i + corl_j - corl_i + (\varepsilon_j - \varepsilon_i) \\ & = \underline{g_j} - \underline{g_i} + \frac{\Delta t}{24} * \underline{drift} - (gr_j - gr_i) * scale^0 * \underline{dscale} \end{aligned}$$

waarbij

$$\begin{aligned} gr_j = & read_j * fac1 + read_j^2 * fac2 + read_j^3 * fac3 + cor_j * srwl + cor_j^2 * srwq + \\ & + \sum_{k=1}^4 (x_k \cos(\frac{2\pi read_j}{p_k}) + y_k \sin(\frac{2\pi read_j}{p_k})). \end{aligned}$$

Dit is het model dat is opgenomen in programma **grav2e92** en latere versies.

Voor het bepalen van de calibratiefactoren is een speciale versie gemaakt. Het model dat daarin is opgenomen ziet er als volgt uit:

$$\begin{aligned} & (gr_j - gr_i) * scale^0 + tide_j - tide_i + corl_j - corl_i + \varepsilon_j - \varepsilon_i \\ = & \underline{g_j} - \underline{g_i} + \frac{\Delta t}{24} * \underline{drift} - (gr_j - gr_i) * scale^0 * \underline{dscale} \\ & - (read_j - read_i) * scale^0 * \underline{dfac1} - (read_j^2 - read_i^2) * scale^0 * \underline{dfac2} \\ & - (read_j^3 - read_i^3) * scale^0 * \underline{dfac3} \\ & - (cor_j - cor_i) * scale^0 * \underline{dsrwl} - (cor_j^2 - cor_i^2) * scale^0 * \underline{dsrwq} \\ & - \sum_{k=1}^4 (\cos(\frac{2\pi read_j}{p_k}) * scale^0 * \underline{dx_k} + \sin(\frac{2\pi read_j}{p_k}) * scale^0 * \underline{dy_k}). \end{aligned}$$

met

$$gr_j = read_j * fac1^0 + read_j^2 * fac2^0 + read_j^3 * fac3^0 + cor_j * srwl^0 + cor_j^2 * srwq^0 + \sum_{k=1}^4 (x_k^0 \cos(\frac{2\pi read_j}{p_k}) + y_k^0 \sin(\frac{2\pi read_j}{p_k}))$$

De gecorrigeerde calibratiefactoren worden dan berekend volgens:

$$\begin{aligned} scale &= scale^0 * (1 + dscale) \\ fac1 &= fac1^0 * (1 + dfac1) \\ fac2 &= fac2^0 + dfac2 \\ fac3 &= fac3^0 + dfac3 \\ srwl &= srwl^0 * (1 + dsrwl) \\ srwq &= srwq^0 + dsrwl \\ x_k &= x_k^0 + dx_k. \end{aligned}$$

Voor de stabiliteit bij de matrixbewerkingen van de kleinste kwadraten vereffening worden de correcties vermenigvuldigd met een factor zodat de elementen van de designmatrix van gelijke orde zijn. Het bovengenoemde model wordt als volgt geprogrammeerd:

$$\begin{aligned} & (gr_j - gr_i) * scale^0 + tide_j - tide_i + corl_j - corl_i + \varepsilon_j - \varepsilon_i \\ = & \underline{g_j} - \underline{g_i} + \frac{\Delta t}{24} * \underline{drift} - \frac{(gr_j - gr_i)}{1000} * scale^0 * \underline{dscale} \\ & - \frac{(read_j - read_i)}{1000} * scale^0 * \underline{dfac1} - \frac{(read_j^2 - read_i^2)}{10^6} * scale^0 * \underline{dfac2} \\ & - \frac{(read_j^3 - read_i^3)}{10^9} * scale^0 * \underline{dfac3} \\ & - \frac{(cor_j - cor_i)}{10} * scale^0 * \underline{dsrwl} - \frac{(cor_j^2 - cor_i^2)}{100} * scale^0 * \underline{dsrwl} \\ & - \sum_{k=1}^4 (\cos(\frac{2\pi read_j}{p_k}) * scale^0 * \underline{dx_k} + \sin(\frac{2\pi read_j}{p_k}) * scale^0 * \underline{dy_k}). \end{aligned}$$

Mathematisch model voor de vereffening van zwaartekrachtnetwerken

De gecorrigeerde calibratiefactoren worden dan berekend volgens:

$$scale = scale^0 * (1 + \frac{dscale}{1000})$$

$$fac1 = fac1^0 * (1 + \frac{dfac}{1000})$$

$$fac2 = fac2^0 + \frac{dfac2}{10^6}$$

$$fac3 = fac3^0 + \frac{dfac3}{10^9}$$

$$srwl = srwl^0 * (1 + \frac{dsrwl}{10})$$

$$srwq = srwq^0 + \frac{dsrwq}{10}$$

$$x_k = x_k^0 + dx_k$$

$$y_k = y_k^0 + dy_k.$$

C Puntcodes voor punten met meer dan 1 code

Rapportcodering	TUD code	RWS code	ORSNAP code	NWELL	DSGN76
10	10	614			
15	15	584			
26	26	631			
50	50	641			
90	90	671			
110	110	701			
135	135	731			
72		72		072	
200		200			10/0
210		210			10/2
550			000A2300		
551	73	551		051	
552	71	552		052	
553	72	553			
571		571	000A1205	072C	
572		572	000A1206	073	
573	107	573		071	
580		580	000A2070		
581	16	581		081	
582	17	582		017	
583	18	583		018	
610		610	000A2596		
620		620	000A2030		
630		630	000A2080		
640		640	000A1121		
650		650	000A2460		
660		660	000A2120		
670		670	000A2572		
680		680	000A1112		
690		690	000A1100		

vervolg →

Tabel C.1: *Dubbele puntcodes.*

vervolg tabel C.1

Rapportcodering	TUD code	RWS code	ORSNAP code	NWELL	DSGN76
700		700	000A2330		
710		710	000A2602		
720		720	000A4019		
730		730	000A4068		
740		740	000A1160		
750		750	000A2576		
760		760	000A2290		
770		770	000A1181		
780		780	000A2742		
781	122	781		041	
782	123	782		042	
783		783		043	
791		791			3/0
792		792			3/2
793		793			3/1
893		893			5/0
898	98	898			5/3

