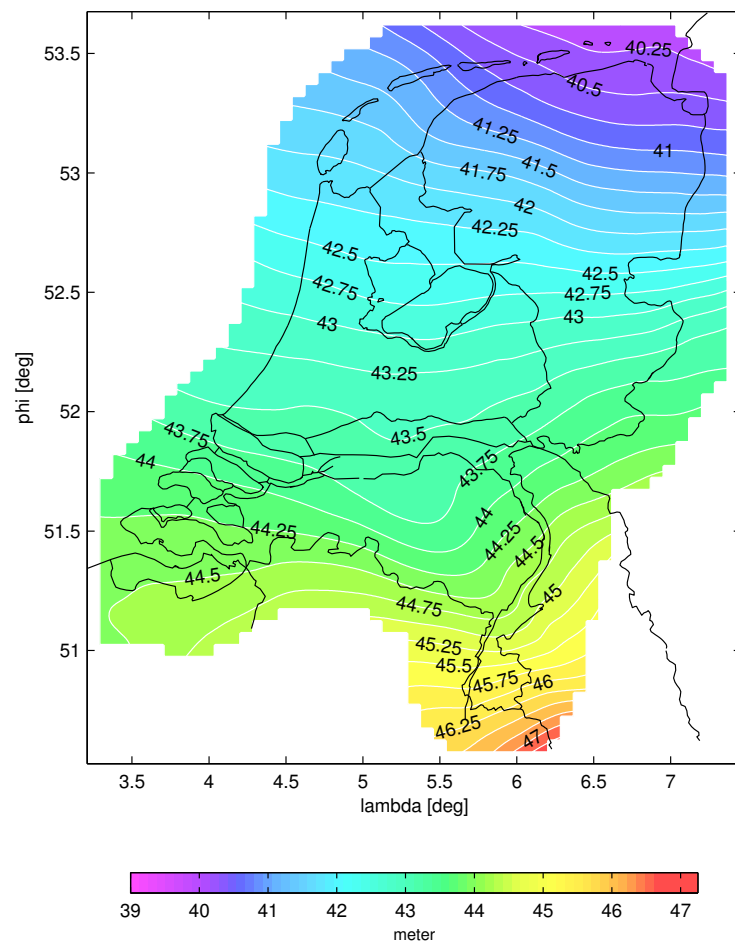


NLGEO2004

Een nieuw geïdemodel voor Nederland

November 2004



NLGEO2004

Een nieuw geoïdemodel voor Nederland

Colofon

Uitgegeven door	Adviesdienst Geo-informatie en ICT
Rapportnummer	AGI-GAP-2004-25
Auteurs	Marc Crombaghs Arnoud de Bruijne (hoofdstuk 2)
Datum	November 2004

Inhoudsopgave

.....

Samenvatting	7
1. Inleiding	9
2. Berekening gravimetrisch geoïdemodel	11
2.1 Nieuwe zwaartekrachtdata.....	11
2.2 Berekeningsstrategie	12
2.2.1. Reconstructie gravimetrische geoïdemodel van De Min	12
2.2.2. Verwerken van de nieuwe zwaartekrachtdata	12
2.3 Resultaat	14
3. Berekening correctievlak.....	17
3.1 Nieuwe GPS/waterpaspunten	17
3.2 Berekeningsstrategie	17
3.3 Correctievlak op basis van de 5 ^e NWP	19
3.4 Vergelijking met andere GPS/waterpaspunten	22
3.5 Vergelijking met astrometrische waarnemingen	23
4. NLGEO2004.....	25
4.1 Eindresultaat.....	25
4.2 Vergelijking met het geoïdemodel van De Min	26
4.3 Vergelijking met Europese geoïdemodel EGG97.....	28
4.4 Precisie NLGEO2004.....	29
4.5 Naamgeving NLGEO2004	30
4.6 Geldigheidsgebied NLGEO2004	31
4.7 Publicatie van NLGEO2004	32
Bijlage A: Precisiebeschrijving NLGEO2004	35
Literatuur.....	39
Projectgegevens	41

Samenvatting

Een geoïdemodel is nodig om NAP-hoogtes uit GPS-metingen te kunnen berekenen. In 1996 is het eerste nauwkeurige geoïdemodel voor Nederland berekend [De Min, 1996]. Inmiddels is er nieuwe data beschikbaar gekomen, waarmee een verbeterd geoïdemodel is berekend: NLGEO2004. Dit model houdt tevens rekening met de in 2005 door te voeren herziening van de NAP-hoogtes in geheel Nederland.

De kwaliteit van het geoïdemodel van De Min is minder goed langs de grens met België en in de provincie Limburg. NLGEO2004 daarentegen, heeft in heel Nederland een homogene kwaliteit, die beschreven kan worden met de standaardafwijking van een geoïdehoogteverschil als functie van de afstand d tussen twee punten in Nederland:

$$\sigma_{\Delta N} \text{ (cm)} = 0,35 + 0,003 \cdot d(\text{km})$$

De precisie van een NAP-hoogte van een 'los' punt die uit GPS-metingen is bepaald, bestaat uit een bijdrage van NLGEO2004 (met een standaardafwijking van 0,35 cm) én de precisie van de GPS-metingen.

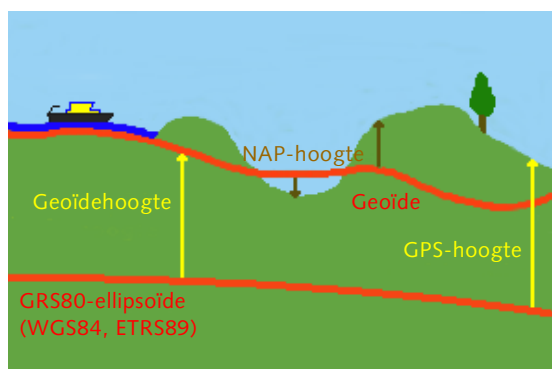
Het verschil tussen NLGEO2004 en het geoïdemodel van De Min bedraagt in het grootste deel van Nederland minder dan een centimeter. Vanaf de oostelijke helft van Noord-Brabant richting Limburg lopen de verschillen op tot ongeveer 6 centimeter.

NLGEO2004 vervangt het geoïdemodel van De Min. Deze update zal ook in de reguliere software voor de verwerking van GPS-gegevens en voor vereffening worden ingebouwd. Naar verwachting zal de levensduur van NLGEO2004 tenminste 10 jaar bedragen.

NLGEO2004 is gegeven ten opzichte van de GRS80-ellipsoïde, die wordt gebruikt door WGS84 en ETRS89.

1. Inleiding

In 1996 is het eerste nauwkeurige geoïdemodel voor Nederland berekend [De Min, 1996]. Het geoïdemodel van De Min wordt nu in de praktijk toegepast door landmeetkundig Nederland om NAP-hoogtes uit GPS-metingen te kunnen berekenen, zie Figuur 1.



Figuur 1: NAP-hoogte, GPS-hoogte en geoïdehoogte.

Bij het bepalen van een nauwkeurig geoïdemodel zijn drie factoren van groot belang:

- De dichtheid en de kwaliteit van de beschikbare zwaartekrachtdata;
- De beschikbaarheid van GPS/waterpaspunten;
- De berekeningsstrategieën.

De berekening is te verdelen in twee hoofdstappen:

- De verwerking van de zwaartekrachtdata tot een zogenaamd gravimetrische geoïdemodel (hoofdstuk 2).
- Het toepassen van een correctievlak met behulp van de GPS/waterpaspunten (hoofdstuk 3).

Er is geen onderzoek verricht naar de verschillende strategieën voor de berekening van de gravimetrische geoïde. De methode zoals uitgebreid onderzocht en beschreven in [De Min, 1996] wordt opnieuw toegepast.

Voor het bepalen van een geoïdemodel voor Nederland is in de periode 1990-1994 door Rijkswaterstaat en een aantal ingenieursbureaus een 2^e orde zwaartekrachtnet gemeten, bestaande uit bijna 8000 punten (1 punt per 5 km²), waarop ongeveer 13.000 relatieve zwaartekrachtmetingen zijn verricht. Daarnaast is er van de gehele aarde zwaartekrachtinformatie nodig. Voor een groot deel kan hiervoor een zogenaamd globaal geopotentialmodel worden gebruikt. Er worden regelmatige nieuwe versies van dit soort modellen berekend.

De berekeningsstrategie van [De Min, 1996] heeft daarnaast gedetailleerde zwaartekrachtinformatie nodig tot ongeveer 550 kilometer over de landsgrens. Een zwak punt bij de berekening van het geoïdemodel van De Min was dat de beschikbare data in België van dusdanig slechte kwaliteit was, dat er nagenoeg geen gebruik van is gemaakt, zie 3.2 en 3.3 van [De Min, 1996]. Gevolg hiervan is dat de kwaliteit van het geoïdemodel in de buurt van de Belgische grens minder goed is.

Eind 1999 heeft Rijkswaterstaat zwaartekrachtmetingen uitgevoerd in het nog 'lege' gebied in Noord-België, met een dichtheid van 1 punt per 16 km² [Crombaghs, 2000]. In ruil daarvoor zijn in 2001 alle overige (op dat moment beschikbare) zwaartekrachtdata van België verkregen, met een maximale dichtheid van 1 punt per 5 km². Na de metingen en de uitwisseling van data hebben we de beschikking over zo'n 15.000 zwaartekrachtwaardes in heel België. In de loop van 2001 is ook nieuwe zwaartekrachtdata uit Duitsland verkregen. Met de toevoeging van deze nieuwe zwaartekracht-datasets kan het gravimetrische geoïdemodel van Nederland worden herberekend.

Een tweede reden om een nieuw geoïdemodel te berekenen, is het toegenomen aantal punten in Nederland waarvan zowel een GPS-hoogte als een gewaterpaste hoogte beschikbaar is (GPS/waterpaspunten). Met dit soort punten kan het gravimetrische geoïdemodel gecorrigeerd worden, zodat de beste aansluiting aan het NAP-vlak bereikt wordt [De Min, 1996], [De Bruijne, 1997], [Sideris, 1999]. Deze correctie is nodig, omdat de huidige globale geopotentialmodellen langgolvige fouten veroorzaken in de berekening van lokale gravimetrische geoïdemodellen.

Bovendien wordt op 1-1-2005 een nieuwe NAP-publicatie doorgevoerd. Bij de geoïdeberekening wordt hiermee rekening gehouden door van de GPS/waterpaspunten de nieuwe NAP-hoogtes te gebruiken.

Bij de berekening van het geoïdemodel van De Min waren slechts 17 GPS/waterpaspunten uit de NEREF-campagne van 1994 beschikbaar. Nu zijn ook de volgende GPS/waterpaspunten voorhanden:

- 84 punten uit de 5^e Nauwkeurigheidswaterpassing van Rijkswaterstaat;
- Ruim 400 punten van het GPS-kernnet van het Kadaster.

Bovendien zijn GPS/waterpaspunten uit België en Duitsland verkregen.

Dit rapport bevat een beschrijving van de berekening van het nieuwe geoïdemodel voor Nederland. Er wordt een kwaliteitsbeschrijving gegeven en er wordt een vergelijking gemaakt met het geoïdemodel van De Min.

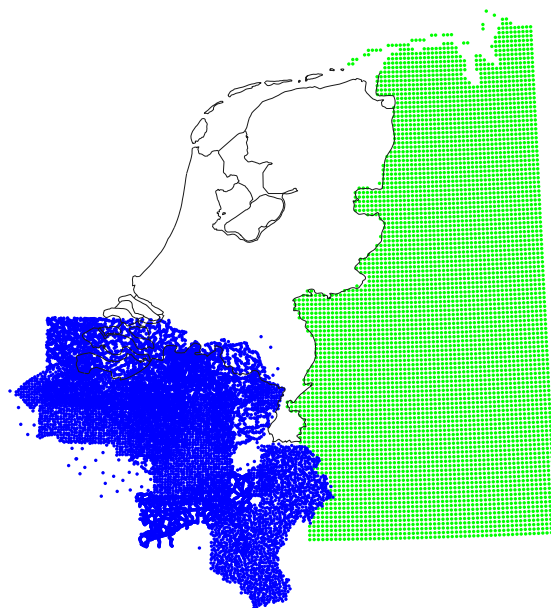
2. Berekening gravimetrisch geoidemodel

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe het nieuwe gravimetrische geoidemodel is berekend. Er is uitgegaan van de procedure die is beschreven in [De Min, 1996]. Er is gebruik gemaakt van een nieuw globaal geopotentialmodel, en van de nieuwe lokale zwaartekrachtdata in België en Duitsland.

In de eerste paragraaf wordt kort ingegaan op de nieuwe data. Vervolgens komt de gebruikte berekeningsstrategie aan de orde, inclusief de daarbij optredende problemen. In de derde paragraaf worden de resultaten gepresenteerd.

2.1 Nieuwe zwaartekrachtdata

Bij de berekening van het geoidemodel van De Min moest genoeg worden genomen met een beperkt aantal bruikbare zwaartekrachtdata in België. Vooral in de grensstreken met Nederland was de dichtheid van de bruikbare data verre van optimaal. Daarom zijn zwaartekrachtmetingen uitgevoerd in België [Crombaghs, 2000].



Figuur 2: Beschikbare nieuwe zwaartekrachtdata in België en Duitsland.

Daarnaast zijn uit Duitsland zwaartekrachtdata verkregen die recenter zijn dan de data die gebruikt zijn door De Min. In Figuur 2 wordt een overzicht gegeven van de nieuwe data. Vooral de Belgische data bestaat uit clusters van verschillende kwaliteit. Hiermee is rekening gehouden in de dataverwerking.

2.2 Berekeningsstrategie

De berekening van het gravimetrische geoïdemodel is een complex proces. Bovendien bleek de procedure van De Min slecht gedocumenteerd, waardoor veel tijd verloren is gegaan. De procedure is nu beter vastgelegd om eventuele toekomstige berekeningen te vergemakkelijken. Hieronder worden de procedurestappen beschreven.

2.2.1. Reconstructie gravimetrische geoïdemodel van De Min

Om zeker te zijn van de juiste gang van zaken is allereerst de procedure van [De Min, 1996] herhaald met dezelfde invoergegevens als destijds. Op die manier wordt het geoïdemodel van De Min gereproduceerd. De tussenresultaten waren nog voorhanden en konden daarom tussendoor worden gebruikt ter vergelijking.

De reconstructie bestaat, net als de berekening van het nieuwe geoïdemodel, uit de volgende stappen:

1. De langgolvige bijdrage aan het geoïdemodel wordt berekend uit het globale geopotentialmodel OSU91a. Deze bijdrage wordt N1 genoemd.
2. De kortgolvige bijdrage N2 wordt als volgt samengesteld:
 - de kortgolvige modificatie van OSU91a wordt omgezet naar zwaartekrachtwaarden in het gewenste gridformaat;
 - dit resultaat wordt afgetrokken van de data van het binnengebied, inclusief de atmosfeercorrectie, en resulteert in een grid van zwaartekrachtanomalieën;
 - vervolgens wordt dit resultaat met Stokes' functie geconvolveerd met een bepaalde modificatie van de kernel (Meissl / Wong & Gore) en een zoekstraal (capsize) van 5 graden.
3. De (minieme) ellipsoïdische correctie wordt tenslotte berekend met input die afkomstig is van OSU91a (hier niet opnieuw berekend). Dit noemen we ELL. Merk op dat deze bijdrage bij het gebruik van EGM96 (zie 2.2.2) niet opnieuw is berekend. Er kan worden aangetoond dat dit geen noemenswaardig effect heeft op het eindresultaat.

Deze drie delen worden gesommeerd tot het gravimetrische geoïdemodel. Afgezien van afrondingsverschillen is het gelukt om het gravimetrische geoïdemodel van De Min te reconstrueren.

2.2.2. Verwerken van de nieuwe zwaartekrachtdata

Voor het verwerken van de nieuwe zwaartekrachtdata is eerst geprobeerd de door De Min gebruikte blokanomalieën te reconstrueren vanuit de (oude) puntdata; toevoeging van de nieuwe puntdata (uit België en Duitsland), zorgt immers voor een nieuwe set aan blokdata. Deze stap zal dus in de procedure

herhaald moeten worden. In [De Min, 1996] zijn de destijds gebruikte puntdata weergegeven in tabel 3.1.

Deze reproductie kostte veel tijd door een gebrek aan documentatie. Verder diende de data uit België en Duitsland nog een aantal voorbewerkingen te ondergaan (omrekening naar WGS84/GRS80 en omrekening van gemeten zwaartekrachtwaarden naar free-air anomalieën).

Het standaard file-formaat bevat nu per punt: geografische breedte en lengte ten opzichte van GRS80, free-air anomalie en standaardafwijking. In totaal zijn acht bestanden met Belgische data en één bestand met Duitse data gebruikt.

Nu konden de oude en nieuwe data worden gecombineerd¹. Door middel van histogrammen en aan de hand van informatie bij de geleverde nieuwe data kon per groep van data een standaardafwijking worden toegekend.

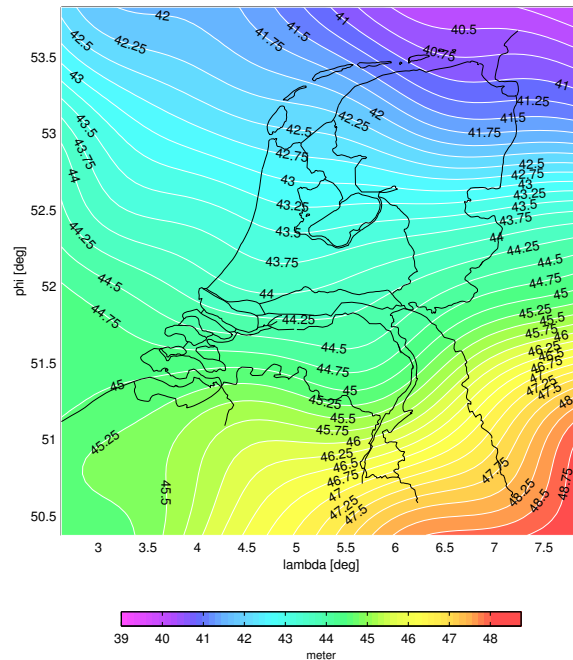
Daarna is de procedure gevolgd, zoals beschreven in paragraaf 2.2.1. Duidelijk anders is hierbij de keuze voor het globale geopotentialmodel: EGM96 in plaats van OSU91a. EGM96 is van recenter datum, en bevat meer gemeten data, onder andere uit Rusland en China. Ter vergelijking is voor beide modellen de procedure doorlopen. Voor het eindresultaat (na toepassen correctievlak, zie hoofdstuk 3) maakt dit weinig verschil. Voor het nieuwe geoidemodel is EGM96 gebruikt.

Merk op dat er inmiddels (medio 2004) nog nieuwere globale geopotentialmodellen beschikbaar zijn gekomen, die zijn berekend met data uit de speciaal daarvoor uitgevoerd satellietmissies CHAMP (ESA) en GRACE (NASA). In 2006 wordt GOCE (ESA) gelanceerd. Wellicht zijn de langgolvlige fouten in deze modellen wat kleiner dan in EGM96, maar de kwaliteit van geoidmodellen voor Nederland zal er niet veel door verbeteren, omdat deze langgolvlige fouten al worden opgevangen door het toepassen van een correctievlak (zie hoofdstuk 3). De N2-bijdrage zal niet veranderen door een nieuw globaal geopotentialmodel.

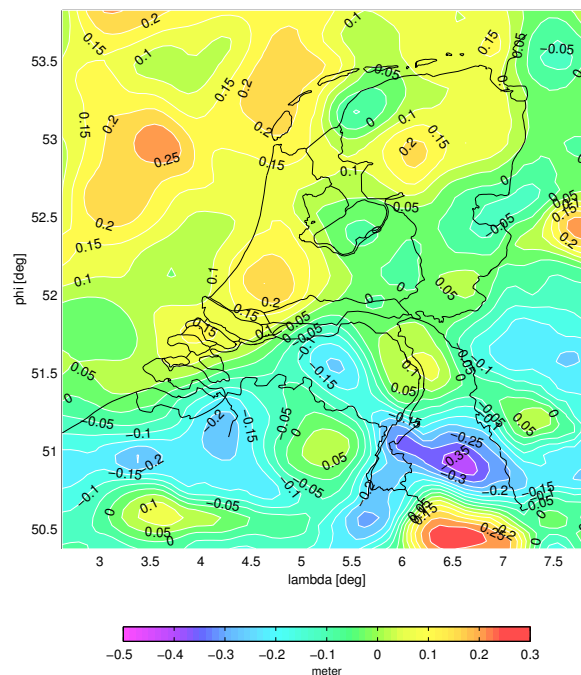
¹ Bij de berekening van het geoidemodel van De Min blijkt (in tegenstelling tot wat wordt beweerd in tabel 3.3 van [De Min, 1996]) bij het combineren van de puntdata iedere waarde in het binnengebied (Nederlands landgebied) een gelijk gewicht te krijgen (1 sigma = 0,300 mgal). Het effect hiervan is aantoonbaar, maar niet ernstig. Bovendien zal het effect op het gravimetrisch geoidemodel kleiner en meer langgolvig worden door de toegepaste Stokes-integratie (zie 2.2.1); de correctie op het gravimetrische geoidemodel (zie hoofdstuk 3) neemt vervolgens (middel)lange golven voor haar rekening. Het effect op de korte golven bleek niet significant. Bij de berekening van NLGEO2004 is voor de juistheid per (groep van) puntdata een relevante standaardafwijking van de punten als gewicht gebruikt. Deze varieert van 0,7 tot 9,0 mgal.

2.3 Resultaat

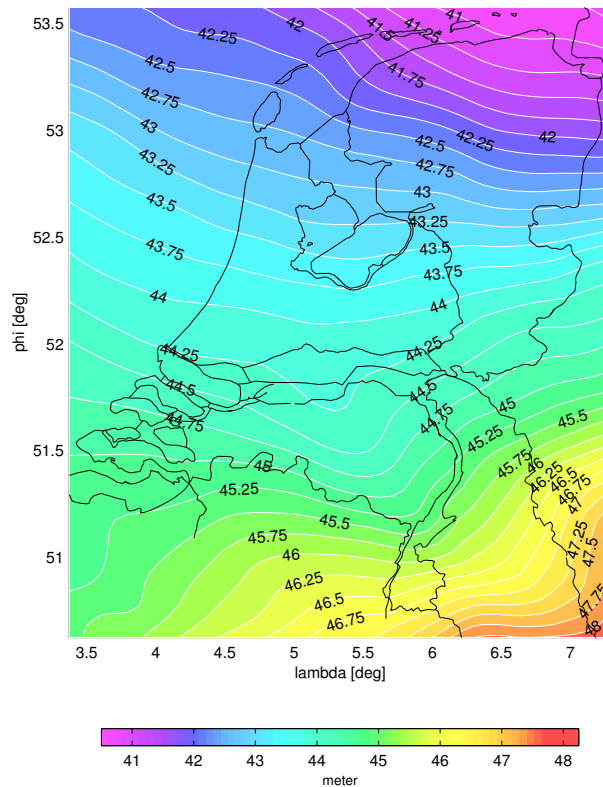
De langgolvlige bijdrage N1 en de kortgolvlige bijdrage N2 aan het nieuwe geoidemodel zijn weergegeven in Figuur 3 en Figuur 4. Het uiteindelijke gravimetrische geoidemodel (de som van N1, N2 en ell, zie paragraaf 2.2) is weergegeven in Figuur 5.



Figuur 3: Langgolvlige bijdrage N1 aan het nieuwe gravimetrische geoidemodel



Figuur 4: Kortgolvlige bijdrage N2 aan het nieuwe gravimetrische geoidemodel

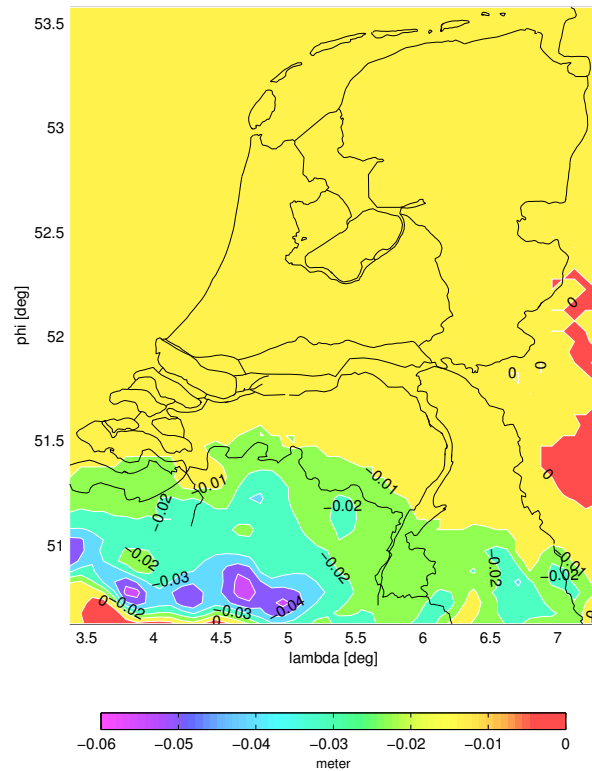


Figuur 5: Het nieuwe gravimetrische geoidemodel.

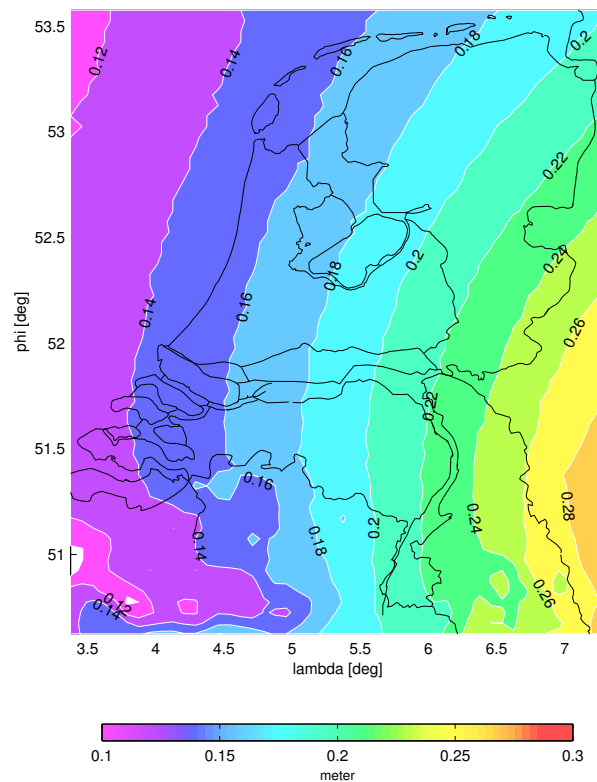
Vervolgens is bekeken wat de bijdrage is geweest van de nieuwe zwaartekrachtdata uit België en Duitsland. Daartoe is het gravimetrische geoidemodel ook berekend met OSU91a, omdat dan een vergelijking met het gravimetrische geoidemodel van De Min mogelijk is, zie Figuur 6. Voor het Nederlandse grondgebied zijn de veranderingen klein: maximaal een cm langs de grens met België, en bijna 2 cm in het uiterste zuiden van Zuid-Limburg.

Tenslotte toont Figuur 7 het verschil tussen het nieuwe gravimetrische geoidemodel (gebaseerd op EGM96) en het gravimetrische geoidemodel van De Min. Hierin zit, behalve het effect uit Figuur 6, ook een dominant langgolvig effect, veroorzaakt door het nieuwe globale geopotentiaalmodel.

Wederom geldt daarom dat de getoonde verschillen door middel van het correctievlak dat bij het gravimetrische geoidemodel wordt opgeteld (zie hoofdstuk 3), grotendeels zullen worden gecorrigeerd.



Figuur 6: Invloed nieuwe zwaartekrachtdata uit België en Duitsland.



Figuur 7: Verschil tussen het nieuwe gravimetrische geoidmodel (gebaseerd op EGM96) en het gravimetrische geoidmodel van De Min (gebaseerd op OSU91a).

3. Berekening correctievlak

Het gravimetrische geoïdemodel bevat nog een langgolvige fout (100-200 kilometer) door fouten in het gebruikte geopotentialmodel. Dat blijkt ook wanneer gravimetrische geoïdehoogtes worden vergeleken met 'pseudo' geoïdehoogtes die berekend kunnen worden met behulp van GPS/waterpaspunten of met astrometrische waarnemingen.

Met behulp van GPS/waterpaspunten kan het gravimetrische geoïdemodel gecorrigeerd worden, zodat de beste aansluiting aan het NAP-vlak wordt bereikt [De Min, 1996], [De Bruijne, 1997], [Sideris, 1999]. Een geoïdemodel wordt in de praktijk namelijk gebruikt om NAP-hoogtes uit GPS-metingen te kunnen berekenen.

Zowel het geoïdemodel van De Min als het nieuwe geoïdemodel hebben dus niet als doel om de geoïde (het equipotentiaalvlak) zo goed mogelijk te bepalen. Het doel is om het NAP-vlak zo goed mogelijk te bepalen. Strikt genomen mag er na het toepassen van een correctievlak niet meer gesproken worden van een geoïdemodel. Correkter zou bijvoorbeeld zijn: het NAP-vlak.

3.1 Nieuwe GPS/waterpaspunten

Bij de berekening van het geoïdemodel van De Min waren slechts 17 GPS/waterpaspunten uit de NEREF-campagne van 1994 beschikbaar.

Nu zijn ook de volgende GPS/waterpaspunten voorhanden:

- 84 punten uit de 5^e Nauwkeurigheidswaterpassing (NWP) van RWS
- Ruim 400 punten van het GPS-kennet van het Kadaster
- Ruim 100 punten in België
- 17 punten in Noord-Duitsland

Een overzicht is te vinden in Figuur 8.

3.2 Berekeningsstrategie

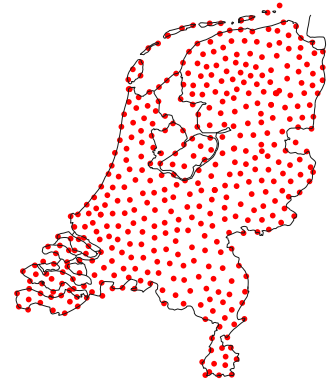
Het volgende berekeningsproces wordt gevolgd [Hilferink, 2001]:

- Bepaling van gravimetrische geoïdehoogtes op de GPS/waterpaspunten door middel van Overhauser spline interpolatie.
- Berekening van de verschillen tussen GPS/waterpas-geoïdehoogtes en gravimetrische geoïdehoogtes op de GPS/waterpaspunten.
- Vlakschatting door die verschillen met behulp van kleinste kwadraten vereffening (merk op dat zo'n vereffening corrigeert voor systematische fouten in het gravimetrische geoïdemodel én de NAP-hoogtes én de GPS-hoogtes).

- Toetsing van de significantie van de vlakparameters, toetsing van de residuele verschillen (verwerpen van 'outliers') en uitvoeren van de globale toets.
- Berekening van het verbeterde geoïdemodel uit het gravimetrische geoïdemodel en het uiteindelijke correctievlak.



a. GPS/waterpaspunten uit 5^e NWP.



b. GPS/waterpaspunten GPS-kernet.



c. GPS/waterpaspunten in België.



d. GPS/waterpaspunten in Duitsland.

Figuur 8: Nieuwe GPS/waterpaspunten

Voor dit proces is software geschreven in Matlab. De punten uit de NEREF-campagne zijn gebruikt om de juiste werking van de software te controleren. Het correctievlak zoals gebruikt door [De Min, 1996] werd door de software feilloos gereconstrueerd.

Het correctievlak van het geoïdemodel van De Min is een hellend vlak, gerepresenteerd door een offset, een kanteling in lengterichting, en een kanteling in breedterichting. In formulevorm: $y = a + b \cdot (\lambda - 5,0) + c \cdot (\phi - 52,0)$. Het was destijds niet verantwoord om een ingewikkelder vlak te schatten, omdat er maar 17 GPS/waterpaspunten beschikbaar waren. Omdat er nu meer GPS/waterpaspunten beschikbaar zijn, kan er een geavanceerder vlak worden berekend. De verwachting van de langgolvige fout uit het geopotentialmodel is zodanig, dat het schatten van kwadratische termen

plausibel is [De Min, 1996]. Daarom wordt er nu gekozen voor een vlak met 6 parameters: $y = a + b \cdot (\lambda - 5,0) + c \cdot (\phi - 52,0) + d \cdot (\lambda - 5,0)^2 + e \cdot (\phi - 52,0)^2 + f \cdot (\lambda - 5,0) \cdot (\phi - 52,0)$. Ook in [5], [10] en [11] wordt aangetoond dat een correctievlak met kwadratische termen een goede keuze is.

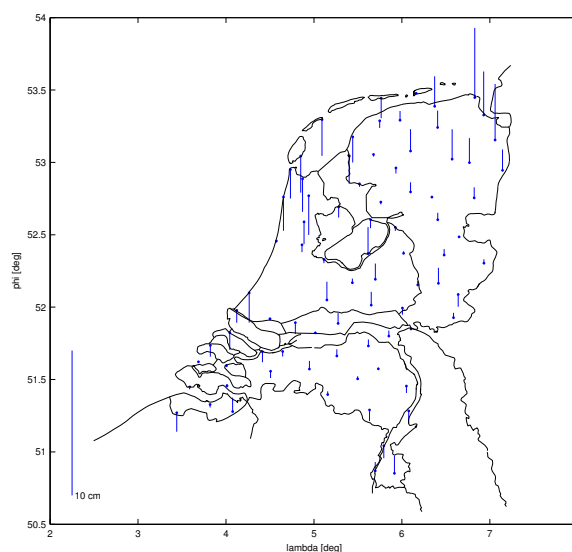
In [Hilferink, 2001] is ook gekeken naar correctievlakken met sinus- en cosinus-termen. Deze termen bleken echter niet significant te zijn. Dit soort termen wordt ook niet verwacht vanuit fouten in het geopotentialmodel, op deze ruimtelijke schaal. Ook varianten waarbij bijvoorbeeld wel een kwadratische ϕ -term en géén kwadratische λ -term wordt gebruikt, leveren geen bruikbaar resultaat op.

Het nieuwe correctievlak wordt berekend met behulp van de GPS/waterpaspunten uit de 5^e Nauwkeurigheidswaterpassing, zie 3.3. Dit zijn kwalitatief de beste GPS/waterpaspunten die ter beschikking staan. Het eindresultaat wordt getoetst aan de andere beschikbare GPS/waterpaspunten (3.4) en aan astrometrische waarnemingen (3.5).

3.3 Correctievlak op basis van de 5^e NWP

Eén van de resultaten van de 5^e Nauwkeurigheidswaterpassing is een set van 84 GPS/waterpaspunten. In 2004 zijn van deze punten de definitieve herziene NAP-hoogtes (geldig vanaf 1 januari 2005) en GPS-hoogtes (n.a.v. een wijziging van de AGRS-coördinaten) beschikbaar gekomen, zie [Brand, 2004] en [Pol, 2004] .

De standaardafwijking van de gebruikte NAP-hoogtes is 2-4 mm. De standaardafwijking van de gebruikte GPS-hoogtes is 10-15 mm. Voor de GPS-waarnemingen was een volle covariantiematrix beschikbaar. Er is echter gebruik gemaakt van een diagonaalmatrix, omdat in [Hilferink, 2001] is aangetoond dat dit een nagenoeg identiek correctievlak oplevert.



Figuur 9: Verschillen op GPS/waterpaspunten vóór vlakschatting (- 68 cm)

Uitgangspunt zijn steeds de 84 GPS/waterpaspunten uit de 5^e Nauwkeurigheidswaterpassing. In Figuur 9 zijn de verschillen vóór de vlakschatting (de 2^e berekeningsstap uit 3.2) gevisualiseerd. Daarbij is het gemiddelde verschil van ongeveer 68 cm weggelaten.

Vlakschatting zoals beschreven in 3.2 levert het correctievlak uit Figuur 10 op. Tijdens de procedure zijn 2 van de 84 punten verwijderd (CS18 en WJ10). Daarna werden alle toetsen aanvaard. De grenswaardes van de 82 overgebleven punten variëren van 3 tot 5 cm. De grenswaarde geeft de grootte van de fout (in het residu) die door de toetsingsprocedure nog nèt wordt gevonden (interne betrouwbaarheid).

De volgende parameters worden geschat:

a =	-0,6679	d =	-0,0053
b =	+0,0101	e =	-0,0036
c =	-0,0152	f =	+0,0208

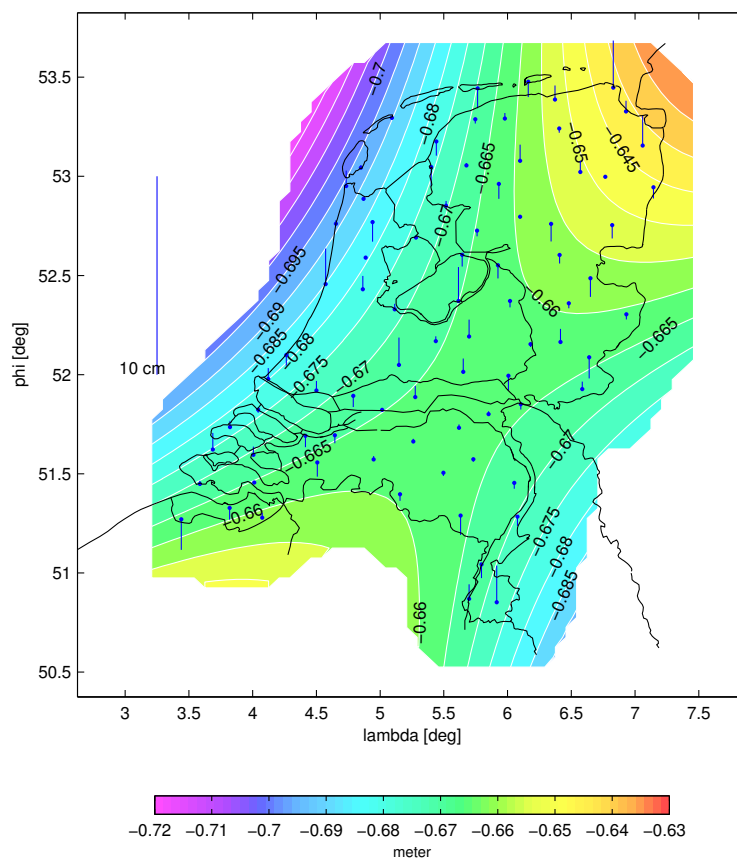
Een bovengrens voor de invloed van fouten ter grootte van de grenswaarde op de onbekenden (in dit geval de 6 parameters van het correctievlak) in relatie tot de precisie van de onbekenden wordt gegeven door de zogenaamde verstoringsfactor (externe betrouwbaarheid), zie [Kadaster, 1996]. Uit de berekeningen volgt dat de bovengrens niet wordt overschreden, en dat de verstoringsfactoren bovendien ruimschoots onder de vuistregel van maximaal 10 blijven: de maximale verstoringsfactor is slechts 1,7. De externe betrouwbaarheid is dus goed te noemen.

In Figuur 10 zijn ook de verschillen op de GPS/waterpaspunten ná vlakschatting afgebeeld. Figuur 11 bevat een histogram van deze residuen. Deze residuen mogen worden beschouwd als normaal verdeeld (Kolmogorov-Smirnov test in Matlab). Er is weinig ruimtelijk systematiek, zie Figuur 23 in bijlage A.

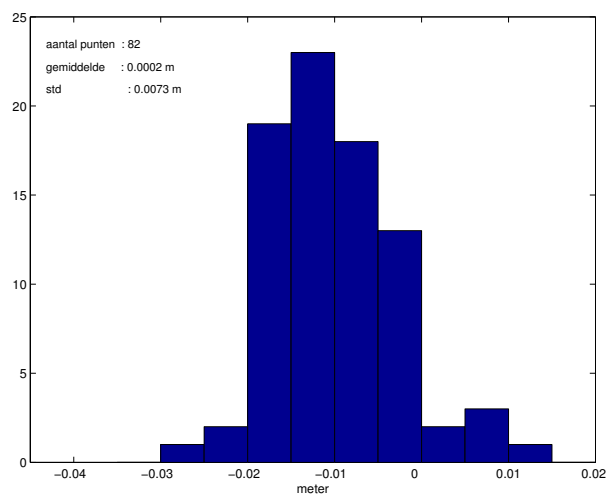
Tabel 1 bevat enkele statische waardes van de residuen vóór en ná de vlakschatting, oftewel: ten opzichte van de gravimetrische geoïde, en ten opzichte van NLGEO2004. Ter illustratie zijn in de tabel ook de waardes opgenomen voor een lineair correctievlak, zoals gebruikt bij de berekening van het geoïdemodel van De Min, en voor een kwadratisch vlak waarbij gebruik is gemaakt van de oude NAP-hoogtes (waarbij 6 van de 84 punten werden verworpen).

# parameters	σ (m)	Kwadratensom (m)	Globale toets
Voor vlakschatting	0,0131	36,69	-
Lineair vlak	0,0110	0,0099	0,77
Kwadratisch vlak	0,0073	0,0043	0,36
Kwadratisch vlak (oud NAP)	0,0089	0,0062	0,53

Tabel 1: Statistische maten van de verschillende vlakschattingen.



Figuur 10: Het correctievlak plus de residuen op de GPS/waterpaspunten.



Figuur 11: Histogram van de residuen op de GPS/waterpaspunten

Het correctievlak uit Figuur 10 opgeteld bij het gravimetrische geoïdemodel uit Figuur 5 levert het eindresultaat. Dit nieuwe geoïdemodel voor Nederland krijgt de naam NLGEO2004, zie 4.1 en 4.5.

3.4 Vergelijking met andere GPS/waterpaspunten

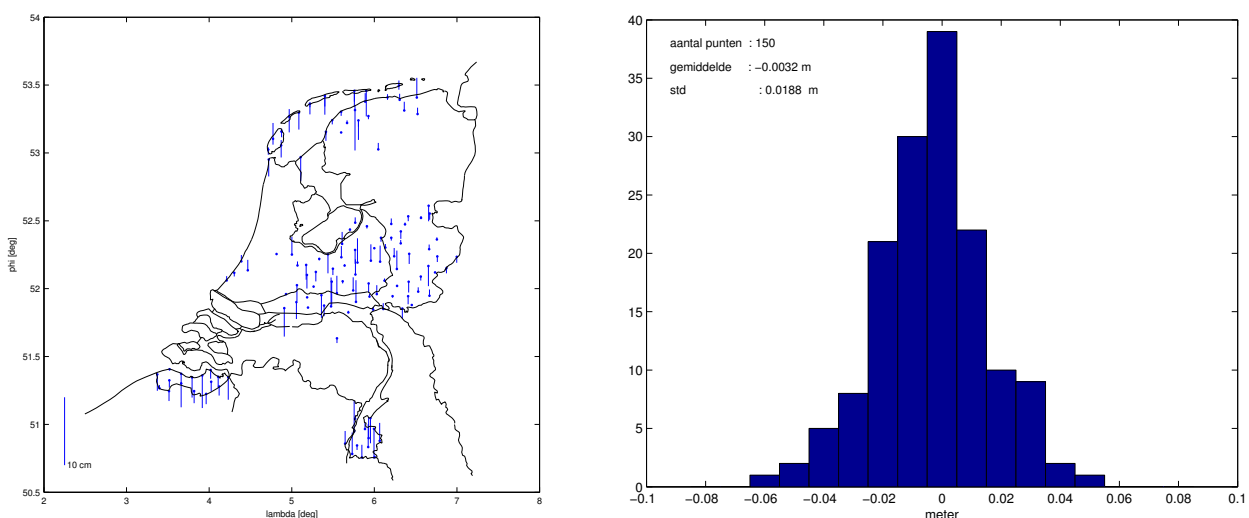
Het nieuwe geoidemodel (NLGEO2004) kan nu worden vergeleken met de overige in 3.1 genoemde GPS/waterpaspunten. Hierbij treedt echter het probleem op dat voor de meeste van deze punten geen nauwkeurige en actuele GPS-hoogtes en NAP-hoogtes bekend zijn. Alleen voor een deel van het GPS-kernnet konden actuele GPS- en NAP-hoogtes berekend worden. In de loop van 2004 en in 2005 zullen van het gehele GPS-kernnet actuele GPS- en NAP-hoogtes beschikbaar komen.

Deze subset van het GPS-kernnet bestaat uit 150 punten, dus ongeveer 1/3 deel van het GPS-kernnet. De verdeling over Nederland is goed genoeg om een goede vergelijking met NLGEO2004 mogelijk te maken. De verschillen hebben betrekking op:

$$(h_{\text{GPS}} - H_{\text{NAP (gewaterpast)}}) - N_{\text{NLGEO2004}}$$

In [Dierikx, 1999] werd in 1999 eveneens een vergelijking uitgevoerd tussen het GPS-kernnet (uiteeraard met de toen geldende ETRS89-hoogtes en NAP-hoogtes) en het geoidemodel van De Min. Er werd een gemiddeld verschil gevonden van $-1,9$ cm voor heel Nederland. Wordt deze oude GPS-kernnet-dataset geconfronteerd met NLGEO2004, dan wordt een gemiddeld verschil gevonden van maar liefst $-3,3$ cm voor heel Nederland. Zo'n systematisch verschil is in de praktijk erg vervelend.

Gaan we nu de genoemde subset met nieuwe hoogtes vergelijken met NLGEO2004, dan levert dat het beeld op uit Figuur 12. Het is duidelijk te zien dat de herziene NAP-hoogtes en ETRS89-hoogtes een positieve invloed hebben op de verschillen: voor deze subset wordt het gemiddelde verschil teruggebracht naar -3 mm (was -29 mm). Volgens de Kolmogorov-Smirnov test mogen de residuen worden beschouwd als normaal verdeeld. Er mag worden verondersteld dat een soortgelijke verandering ook voor de overige punten uit het GPS-kernnet op zal treden.



Figuur 12: Het GPS-kernnet-bestand vergeleken met NLGEO2004.

3.5 Vergelijking met astrometrische waarnemingen

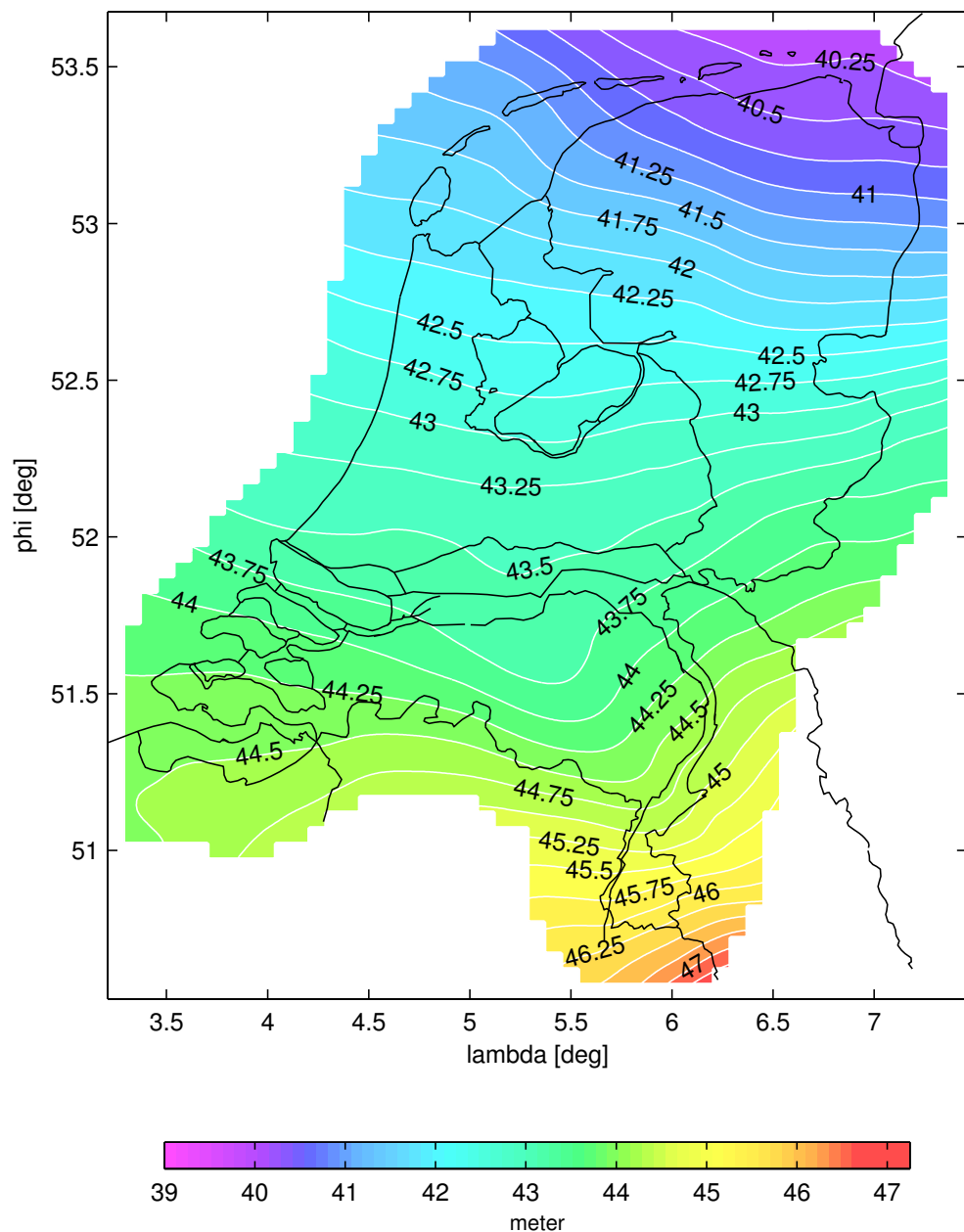
Een onafhankelijke manier om het verloop van de geoïde te bepalen is op basis van astrometrische stermetingen, zie [Schreutelkamp, 2001] en [Schreutelkamp, 2003]. In Nederland hebben we de beschikking over een behoorlijk aantal astrometrische metingen van goede kwaliteit.

Dit soort metingen kan ook gebruikt worden om NLGEO2004 op onafhankelijke wijze te controleren. Schreutelkamp heeft deze controle uitgevoerd en concludeerde dat NLGEO2004 geen aantoonbare trend bevat.

4.NLGEO2004

4.1 Eindresultaat

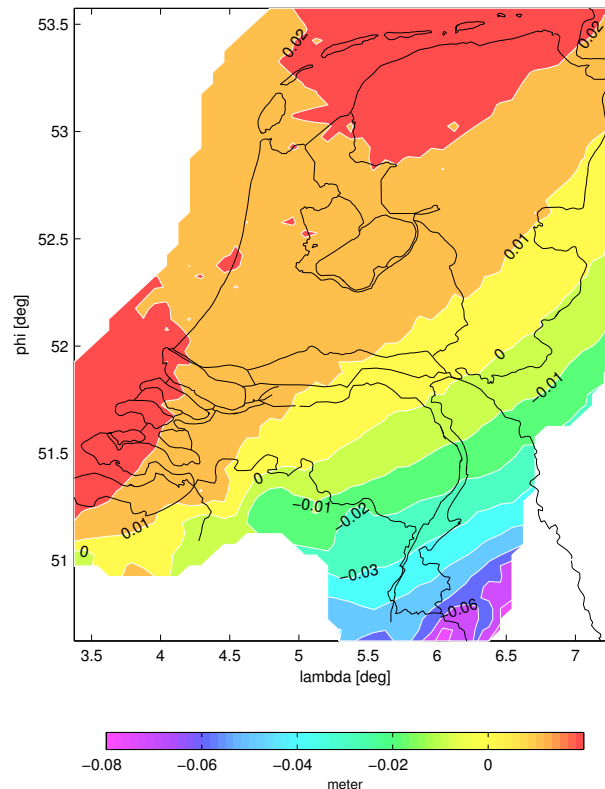
Het nieuwe geoidemodel voor Nederland is afgebeeld in Figuur 13.



Figuur 13: NLGEO2004 (isolijneninterval: 0,25 meter)

4.2 Vergelijking met het geoïdemodel van De Min

Onmiddellijk dringt zich de vraag op hoe groot het verschil is tussen NLGEO2004 en het geoïdemodel van De Min. Dit verschil is weergegeven in Figuur 14.

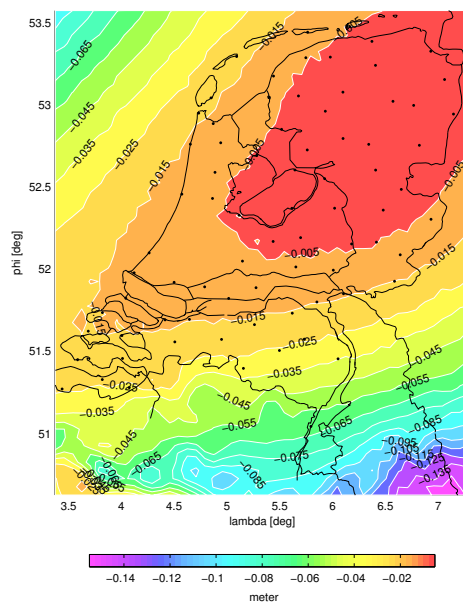


Figuur 14: NLGEO2004 minus het geoïdemodel van De Min.

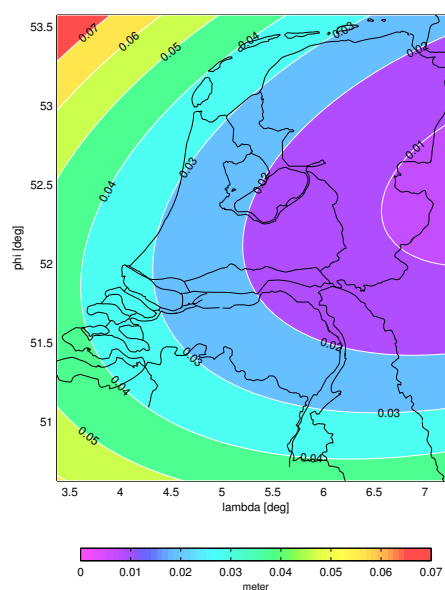
Dit verschil is opgebouwd uit een aantal bijdrages.

- De invloed van de nieuwe zwaartekrachtdata in Duitsland en België, zie Figuur 6.
- De invloed van het nieuwe geopotentialmodel. In combinatie met het nieuwe correctievlak (meer GPS/waterpaspunten, 6 parameters in plaats van 3 parameters) levert dit het beeld op uit Figuur 15.
- De invloed van de nieuwe NAP-hoogtes en GPS-hoogtes van de gebruikte GPS/waterpaspunten. In Figuur 16 is deze bijdrage afgebeeld.

Het bij elkaar optellen van de vlakken uit Figuur 15 en Figuur 16 levert Figuur 14 op. In Tabel 2 is te zien dat de verandering tussen het geoïdemodel van De Min en NLGEO2004 veel minder 'schokkend' is dan die tussen het geoïdemodel van De Min en diens voorganger, het geoïdemodel van Van Willigen uit 1985.



Figuur 15: Invloed van het nieuwe geopotentialmodel en het nieuwe correctievlak, inclusief de invloed van de nieuwe zwaartekrachtdata uit België en Duitsland (zie Figuur 6).



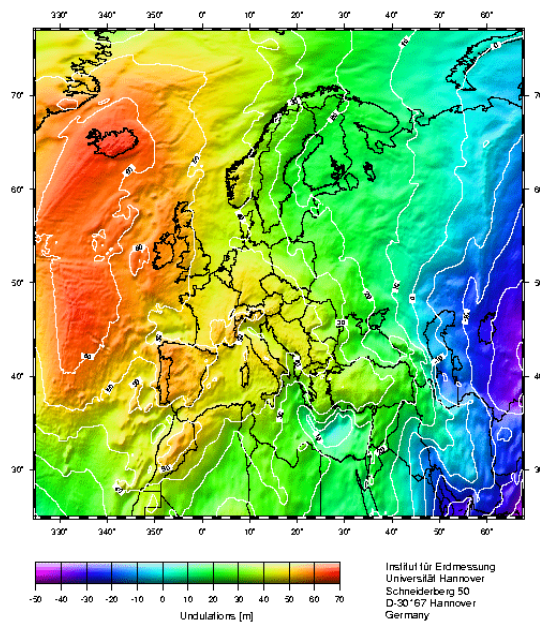
Figuur 16: Invloed van nieuwe NAP-hoogtes en GPS-hoogtes.

	NLGEO2004 ↔ De Min	De Min ↔ Van Willigen
Gemiddelde verschil	0,01	-1,12
Minimale verschil	-0,08	-1,28
Maximale verschil	0,03	-0,85
Standaardafwijking	0,02	0,09

Tabel 2: Verschillen tussen drie opeenvolgende geoïdemodellen voor Nederland, uitgedrukt in meters.

4.3 Vergelijking met Europese geoïdemodel EGG97

Het Europese geoïdemodel EGG97 (zie Figuur 17) is berekend door de Universiteit van Hannover, in de rol van rekencentrum van een IAG-project. Het gebruikte geopotentialmodel is EGM96. Verder is gebruik gemaakt van zwaartekrachtdata op land, op zee en uit ERS-1, en van topografische data (DTM's). De data van het 2^e orde zwaartekrachtnet van Nederland is helaas niet gebruikt in de berekening. In EGG2007, de opvolger van EGG97, zal deze data wel worden gebruikt.



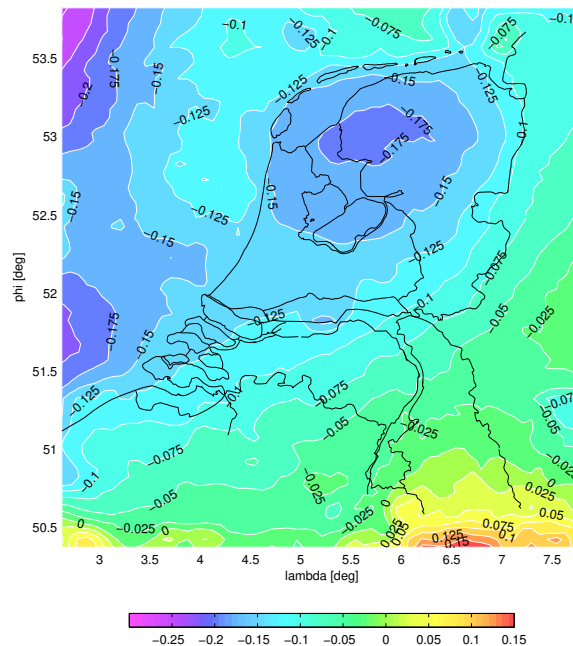
Figuur 17: Europese geoïdemodel EGG97

Strikt genomen is EGG97 een quasi-geoïdemodel, omdat terreincorrecties zijn verwaarloosd. Deze correcties bedragen ongeveer een centimeter in gebergtes tot 200 meter. Voor Nederland zijn ze verwaarloosbaar. Er wordt in het kader van dit rapport niet nader ingegaan op de berekeningsmethodiek van EGG97. EGG97 is gegeven in grid-vorm met een gridcelgrootte van 1,0' x 1,5'. De referentie-ellipsoïde is GRS80. GRS80 is ook gebruikt bij de berekening van het geoïdemodel van De Min en van NLGEO2004.

De geclaimde precisie van EGG97 is 1-5 cm over afstanden tot enkele honderden kilometers. Door vergelijking met GPS/waterpaspunten is gebleken dat over afstanden groter dan enkele honderden kilometers nog fouten voorkomen van 0,1-1,0 ppm. In de beschrijving van EGG97 wordt aangegeven dat een aanvullende correctie met behulp van GPS/waterpaspunten nuttig kan zijn.

EGG97 kan niet gezien worden als vervanging van nationale geoïdemodellen. Bij de berekening van de nationale geoïdemodellen is meestal meer data beschikbaar, en kan er rekening worden gehouden met

de specifieke kenmerken van het nationale hoogtesysteem. Toch zijn er EGG97-waardes berekend op de gridpunten van het nieuwe geoidemodel voor Nederland. De verschillen zijn afgebeeld in Figuur 18.



Figuur 18: NLGEO2004 minus EGG97 (meter)

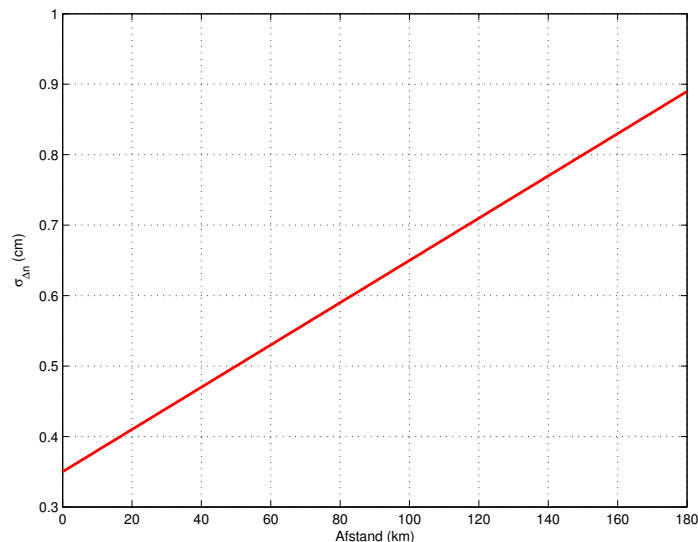
De verschillen binnen de landsgrenzen van Nederland liggen tussen de -20 en 0 cm. De standaardafwijking van de verschillen (rond het gemiddelde) is ongeveer 7 cm, de RMS-waarde (rond 0) is ongeveer 11 cm. Conclusie is dat de geclaimde precisie van EGG97 (1-5 cm over afstanden tot enkele honderden kilometers) in Nederland niet wordt gehaald.

De conclusie is dat EGG97 niet gebruikt mag worden om NAP-hoogtes in Nederland te bepalen. Dat is ook niet het doel van EGG97.

4.4 Precisie NLGEO2004

Een afschatting van de precisie van NLGEO2004 met behulp van een foutenanalyse van de gebruikte data is te vinden in bijlage A. Het resultaat van deze analyse levert een formule op voor de precisie van een geoidhoogteverschil tussen twee punten op een onderlinge afstand d , zie ook Figuur 19:

$$\sigma_{\Delta N} \text{ (cm)} = 0,35 + 0,003 \cdot d \text{ (km)}$$



Figuur 19: Afschatting van de precisie van NLGEO2004.

De fout in het geoïdemodel voor een 'los' punt (puntruus, afstand 0) heeft een standaardafwijking van 3,5 mm. Als een met GPS gemeten ellipsoïdische hoogte wordt omgerekend naar een NAP-hoogte dan komt daarbij nog de fout in de GPS-meting.

Het getal van 7 mm uit Tabel 1 en Figuur 11 bevat naast de puntruus van het geoïdemodel ook puntruus van de ETRS89-hoogtes en de NAP-hoogtes. Systematische fouten zijn door de vlakschatting namelijk geëlimineerd, zie Figuur 24. Ook het getal van 19 mm uit Figuur 12 kan op deze manier verklaard worden. De gebruikte meetmethode voor het GPS-kernnet is geoptimaliseerd voor horizontale plaatsbepaling, en volstaat niet voor nauwkeurige hoogtebepaling.

4.5 Naamgeving NLGEO2004

Het eerste geoïdemodel voor Nederland (1985) stond bekend onder de naam Van Willigen-geoïde. De opvolger (1996) kreeg van de toenmalige Minister van Verkeer en Waterstaat de naam "De Min-geoïde". Uit een kleine enquête² over de naamgeving van het nieuwe geoïdemodel kwamen de volgende overwegingen naar voren:

- Het opnemen van NAP in de naam is plausibel, omdat met het geoïdemodel NAP-hoogtes berekend kunnen worden uit GPS-metingen. Het geoïdemodel poogt het NAP-vlak weer te geven. Daar staat tegenover dat het geoïdemodel het NAP-vlak niet *vastlegt* (zoals RDNAPTRANS het RD-stelsel vastlegt ten opzichte van ETRS89).

² Onder het Dagelijks Bestuur en de leden van de Subcommissie Geometrische Infrastructuur van de NCG en intern AGI

-
- Het is voor de gebruiker duidelijk als er in de naamgeving een consistente lijn in de tijd is te zien. Een vaste naam met een variabel jaartal van publicatie is in dat opzicht de beste keuze.
 - Het jaartal is bij de publicatie in 2005 in het bijzonder van belang, omdat bij de berekening van het nieuwe geoïdemodel rekening is gehouden met de in 2005 door te voeren herziening van NAP-hoogtes in Nederland.
 - De huidige gebruikers van het geoïdemodel voor Nederland zijn gewend aan de benaming “De Min-geoïde”.
 - De nieuwe naam moet voor Nederlanders en voor buitenlanders uitspreekbaar zijn.
 - Het nieuwe geoïdemodel is berekend volgens de strategie uit [De Min, 1996]. Het gebruik van persoonsnamen voor modellen komt in de geodesie vaker voor (Bessel, Hayford, Rapp). Voor geoïdemodellen is dit echter niet het geval. Enkele voorbeelden van bestaande benamingen: CHGEO2004 (Zwitserland), AUSGeoid98 (Australië), ITALGEO95 (Italië), IAGM04 (Spanje/Portugal), FINN2004 (Finland), RGQG2004 (Rusland), EGG97 (Europa). Bij het gebruik van een persoonsnaam is het in internationaal opzicht bovendien niet duidelijk dat het geoïdemodel betrekking heeft op Nederlands grondgebied.
 - Een naam die uit één woord (één ‘tag’) bestaat heeft voordelen, bijvoorbeeld bij het gebruik als identifier in software.

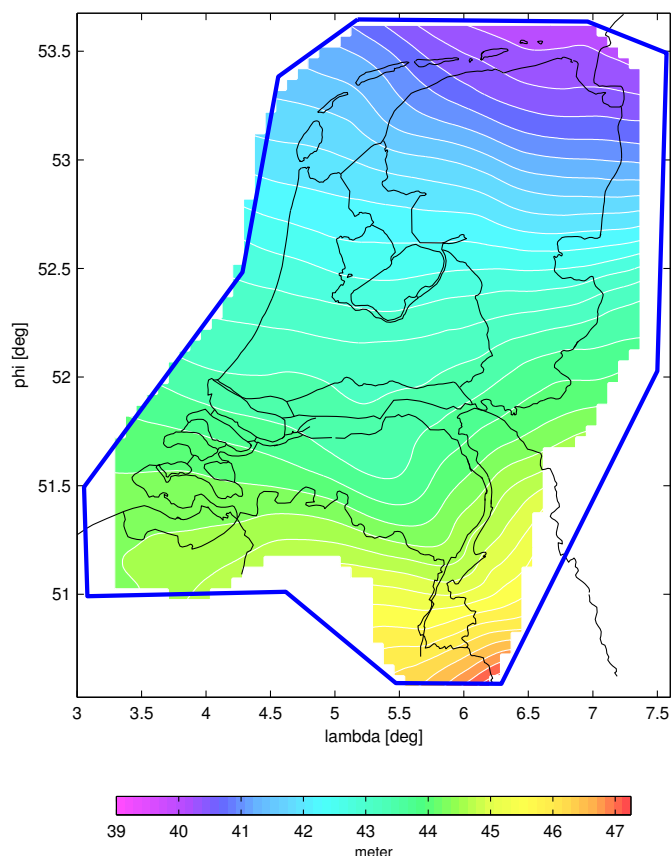
Dit overwegende, wordt er gekozen voor de naam NLGEO2004. Toekomstige geoïdemodellen voor Nederland zullen de naam NLGEO#### dragen (#### = jaartal).

4.6 Geldigheidsgebied NLGEO2004

NLGEO2004 is alleen geldig op het Nederlandse vaste land, plus een strook van ongeveer 15 kilometer. Het geldigheidsgebied is te zien in Figuur 13 en Figuur 20. Dit gebied is iets ruimer dan het gebied uit [De Min, 1996], waarin per abuis een stukje Zeeuws-Vlaanderen niet is opgenomen.

We kiezen voor dit geldigheidsgebied vanwege de gebruikte GPS/waterpaspunten, zie Figuur 8a. Verder dan zo’n 15 kilometer buiten de kust en de landsgrenzen heeft NAP geen betekenis meer. De kwaliteit van de geoïdehoogtes uit NLGEO2004 neemt snel af naarmate men zich buiten het genoemde geldigheidsgebied begeeft.

In Figuur 20 is te zien dat het geldigheidsgebied van NLGEO2004 en het geldigheidsgebied van de RD-coördinaten [Kadaster, 2000] niet helemaal samenvallen. Dit heeft te maken met de afwijkende griddefinities en de bijbehorende interpolatietechnieken van NLGEO2004 en de RD-correctiegrids.



Figuur 20: De geldigheidsgebieden van NLGEO2004 (gekleurd) en van de RD-coördinaten (blauwe lijn).

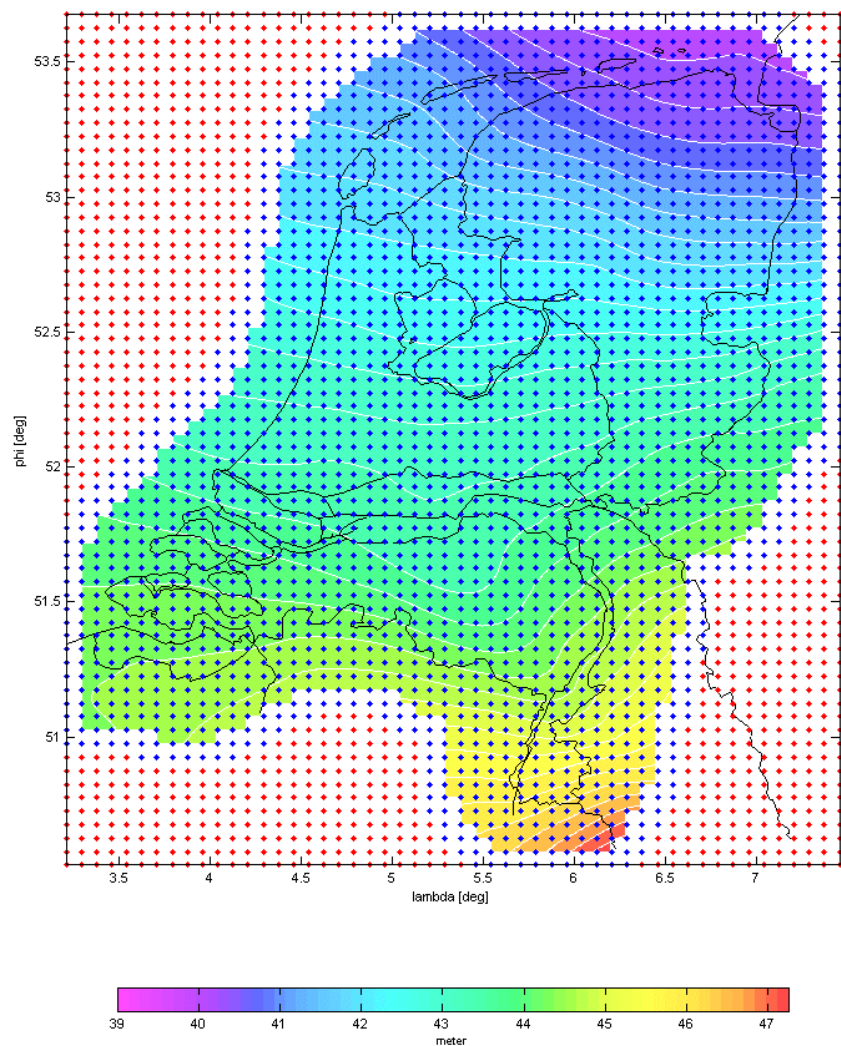
4.7 Publicatie van NLGEO2004

NLGEO2004 wordt gepubliceerd als integraal onderdeel van de omrekenprocedure RDNAPTRANS™2004. De software voor deze procedure wordt door Kadaster en Rijkswaterstaat ter beschikking gesteld aan producenten en distributeurs van geodetische software. Anderen kunnen het geoidemodel op aanvraag gratis verkrijgen bij Rijkswaterstaat.

Daarnaast wordt NLGEO2004 opgenomen in versie 4.1 van de Coordinate Calculator, een programma van Rijkswaterstaat, dat gratis is te downloaden via de website www.rdnap.nl. Deze site bevat ook online functionaliteit voor de omrekening tussen ETRS89 en RD/NAP volgens de procedure RDNAPTRANS™2004.

NLGEO2004 wordt in de software gegeven als waarden op een regelmatig grid met ETRS89-coördinaten. Via een interpolatie met Overhauser-splines kan op elke willekeurige locatie binnen het geldigheidsgebied een NLGEO2004-hoogte worden berekend. Figuur 21 laat het grid zien, dat in totaal 64 x 52 waarden bevat. De rode gridpunten hebben geen waarde. De blauwe gridpunten wel. De Overhauser-splines interpolatie heeft 16

steunpunten met een NLGEO2004-waarde nodig rondom het berekeningspunt. Daarom is het geldigheidsgebied van NLGEO2004 (het gebied waarin daadwerkelijk waarden kunnen worden berekend) iets kleiner dan het gebied met de blauwe gridpunten.



Figuur 21: Geldigheidsgebied van NLGEO2004 en gridwaarden

Een uittreksel van dit rapport zal verschijnen in de NCG-publicatie "De geodetische referentiestelsels van Nederland" en in het artikel "De nieuwe NAP-publicatie" in Geo-Info 2004-10.

Het geoïdemodel van De Min was ook opgenomen in het MS-DOS hulpprogramma `geodemin.exe`. Van dit programma zal geen nieuwe versie worden gemaakt.

Merk op dat naast NLGEO2004 het model GEONZ97 blijft gelden voor de Noordzee.

Bijlage A: Precisiebeschrijving NLGEO2004

Om een uitspraak te kunnen doen over de precisie van NLGEO2004 worden de verschillen die berekend worden in de eerste stap van 3.2 onder de loep genomen:

$$(h_{\text{GPS}} - H_{\text{NAP (gewaterpast)}}) - N_{\text{gravimetrisch geoïdemodel}}$$

In Figuur 22 is een empirische covariantiefunctie getekend van deze verschillen. In Figuur 23 is hetzelfde gedaan, maar dan ná toepassing van een correctievlak met 3 parameters, zoals gebruikt in [De Min, 1996]. In Figuur 24 is hetzelfde gedaan, maar dan ná de toepassing van het correctievlak uit Figuur 10 (dus met NLGEO2004):

$$(h_{\text{GPS}} - H_{\text{NAP (gewaterpast)}}) - N_{\text{NLGEO2004}}$$

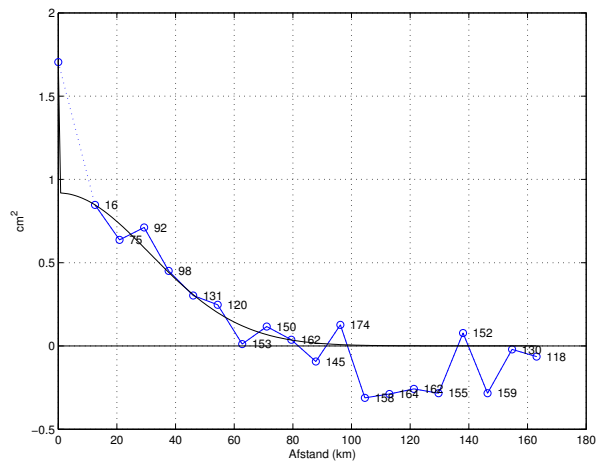
De covariantiefuncties geven een beeld van de aanwezige puntruis en de systematische fouten in de verschillen. De puntruis laat zich zien als een piekje bij afstand 0. De systematiek (correlatie) is af te lezen voor verschillende afstanden.

Vóór de vlakschatting komt er tot ongeveer 80 km correlatie voor. In de figuren is duidelijk te zien dat zowel de afstand waarop nog correlatie voorkomt, als de grootte daarvan amper afneemt na toepassing van het correctievlak met 3 parameters, maar wél sterk afneemt na toepassing van het correctievlak met 6 parameters: de correlatie-afstand is nu ongeveer 40 km, en de grootte is maximaal 0,08 cm² (covariantie-waarde op korte afstanden). Dit is precies wat wordt beoogd met de toepassing van het correctievlak. De waarde van de puntruis is ongeveer $\sqrt{(0,45 \text{ cm}^2)} \approx 7 \text{ mm}$. Deze waarde werd ook gevonden in Tabel 1.

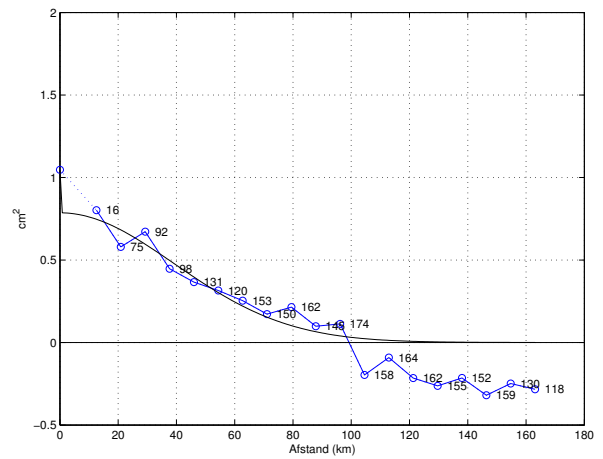
De puntruis (0,45 cm²) en de restsysteematiek na vlakschatting (0,08 cm² op korte afstanden) wordt veroorzaakt door drie niet van elkaar te scheiden componenten:

- Fouten (puntruis en restsysteematiek) in de GPS-hoogtes;
- Fouten (puntruis en restsysteematiek) in de NAP-hoogtes;
- Fouten (puntruis en restsysteematiek) in de NLGEO2004-hoogtes.

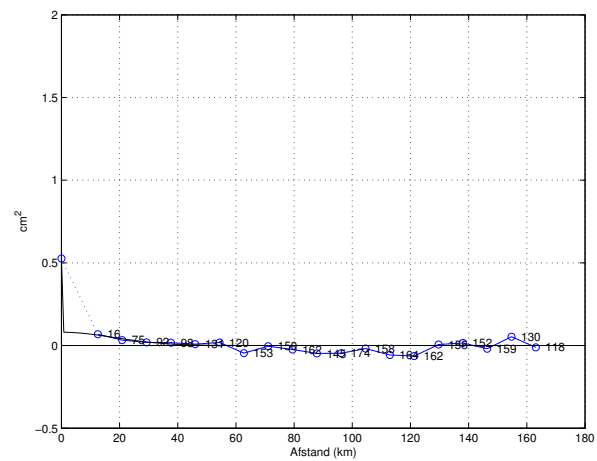
Uit 6.4.2 van [De Min, 1996] weten we dat de puntruis van het gravimetrische geoïdemodel ongeveer 0,04 cm² bedraagt. Uit de resultaten van de 5^e Nauwkeurigheidswaterpassing kan worden afgeleid dat de puntruis van de NAP-hoogtes ongeveer 0,03 cm² bedraagt. Daaruit kan worden afgeleid dat de puntruis van de GPS-hoogtes ongeveer $(0,45 - 0,03 - 0,04) = 0,38 \text{ cm}^2$ bedraagt (standaardafwijking is $\sqrt{(0,38 \text{ cm}^2)} \approx 6 \text{ mm}$).



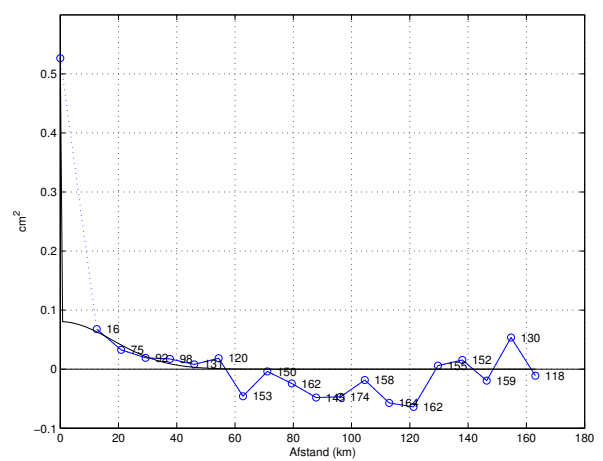
Figuur 22: Covariantiefunctie vóór vlakschatting



Figuur 23: Covariantiefunctie ná vlakschatting met 3 parameters



Figuur 24: Covariantiefunctie ná vlakschatting met 6 parameters



Figuur 25: Identiek aan Figuur 24, echter met een aangepaste verticale as

Voor de covariantiefunctie van de NLGEO2004-bijdrage nemen we daarom uiteindelijk het volgende model aan: een waarde van 0,08 cm² op afstand 0, daar bovenop een puntruït van 0,04 cm², en een lineair dalende correlatie, tot 0 op afstand 40 km. Dit is de blauwe lijn in Figuur 26. Deze figuur laat zien hoe de covariantiefunctie om kan worden gezet naar de variantie van een geoïdehoogteverschil. Hierbij geldt de volgende relatie:

$$\sigma_{\Delta n}^2 = \sigma_{n1}^2 + \sigma_{n2}^2 - 2\sigma_{n1n2} = 2 \cdot (C_0 - C(s))$$

met: C_0 = puntruït; $C(s)$ = verdere verloop van de covariantiefunctie

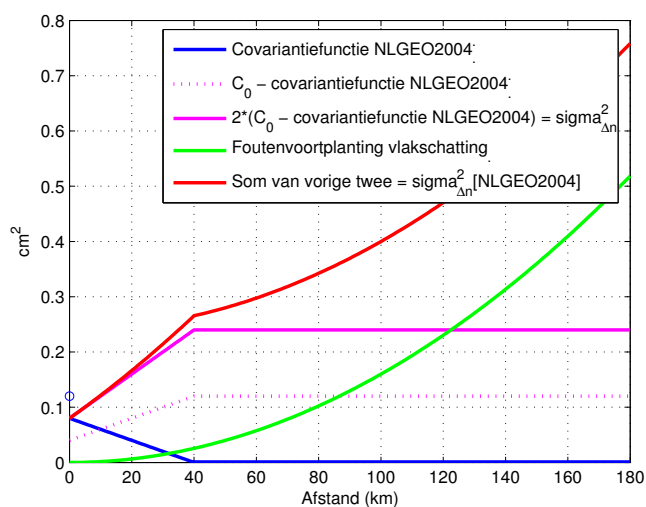
Tenslotte mag niet vergeten worden dat de precisie van de 6 geschatte vlakparameters van invloed is op geoïdehoogteverschillen over grotere afstanden. Als de voortplantingswet wordt toegepast op de formule voor een correctievak met 6 parameters (zie 3.2), dan kunnen waarden voor de standaardafwijking van een geoïdehoogteverschil op een bepaalde afstand worden bepaald. Hierbij moet op de juiste manier rekening worden

gehouden met de bij de correctievlaksschatting toegepaste reductie van de geografische coördinaten. Wordt dit uitgerekend voor verschillende afstanden, dan kan het volgende verband afgeleid worden:

$$\sigma_{\Delta N}^2 \text{ (cm}^2\text{)} = 0,004^2 \cdot d(\text{km})^2$$

De fout in een geoïdehoogteverschil over 100 km afstand heeft dus ten gevolge van de precisie van de vlaksschatting een standaardafwijking van 0,4 cm. Dit is in Figuur 26 weergegeven met de groene lijn (bij 100 km is de waarde $(0,4 \text{ cm})^2 = 0,16 \text{ cm}^2$).

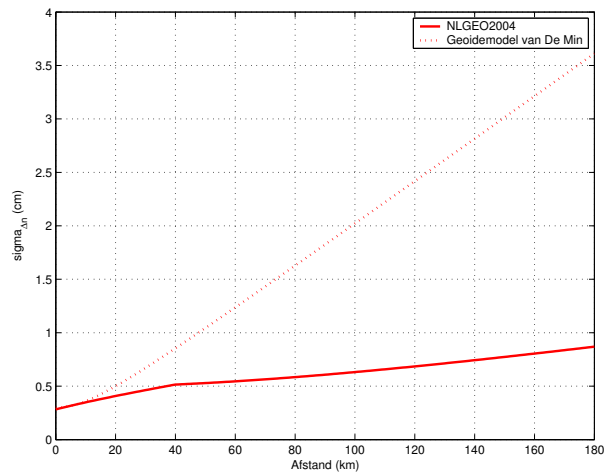
Varianties mogen bij elkaar opgeteld worden. De som van de paarse en de groene lijn geeft de rode lijn, die een goede afschatting is van de precisie van NLGEO2004.



Figuur 26: Omzetting van covariantiefunctie van geoïdehoogtes naar de variantie van een geoïdehoogteverschil; tevens sommatie met foutenvoortplanting van de vlaksschatting.

Wordt de wortel getrokken uit de rode lijn, dan kan er een grafiek worden gemaakt van de standaardafwijking van een geoïdehoogteverschil uit NLGEO2004, uitgezet tegen de afstand. Dit is gedaan in Figuur 27. Deze figuur is vergelijkbaar met Figuur 8.17 uit [De Min, 1996]. De precisie van het geoïdemodel van De Min uit deze figuur, is in Figuur 27 gestippeld weergegeven.

Het lijkt alsof het geoïdemodel van De Min met name voor grotere afstanden veel slechter is dan NLGEO2004. Er is hier echter sprake van een verschillende berekening van de precisie, waarbij de precisiebeschrijving van NLGEO2004 realistischer mag worden verondersteld (mondelinge communicatie met Erik de Min).

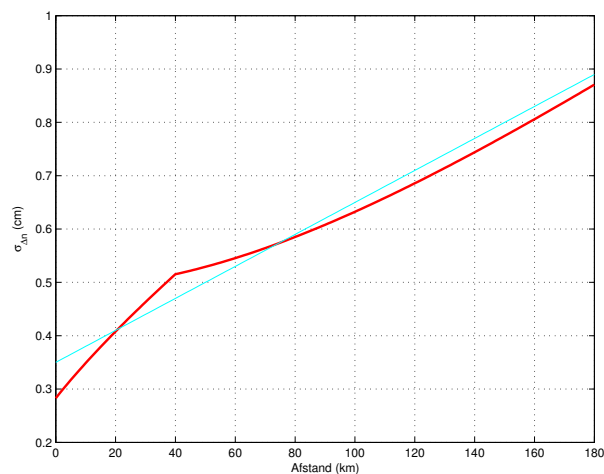


Figuur 27: Precisie van NLGEO2004 en geoidmodel van De Min

In Figuur 28 wordt de precisie van NLGEO2004 nogmaals afgebeeld, maar nu met een aangepaste verticale as. Ter vereenvoudiging van de precisiebeschrijving wordt door de rode lijn een lineaire functie geschat (de blauwe lijn). Deze lijn geldt als de uiteindelijke precisiebeschrijving van NLGEO2004:

$$\sigma_{\Delta N} \text{ (cm)} = 0,35 + 0,003 \cdot d \text{ (km)}$$

Deze formule is alleen geldig als de punten waartussen een geoidhoogteverschil wordt berekend binnen het geldigheidsgebied van NLGEO2004 liggen (zie 4.6). Merk op dat er geen extra term meer nodig is voor punten in de buurt van België (bij de precisiebeschrijving van het geoidmodel van De Min was dit wel het geval, zie pagina 188 van [De Min, 1996]. Om de precisiebeschrijving niet nog ingewikkelder te maken, worden ook de extra Noordzee-termen (zie pagina 188 van [De Min, 1996]) verwaarloosd. Het is wel goed om in gedachte te houden dat de precisie wat minder goed kan zijn als men zich op minder dan 30 km van de Noordzee bevindt.



Figuur 28: Precisie van NLGEO2004

1. Brand, G.B.M., J.H. ten Damme, J. Gerritsen, *Herberekening van het primaire net van het NAP*, AGI-rapport AGI-GAP-04-004, augustus 2004.
2. Bruijne, A.J.T. de, R.H.N. Haagmans en E.J. de Min, *A preliminary North Sea Geoid model GEONZ97*, MD-rapport MDGAP-9735, 1997.
3. Crombaghs, M.J.E., *Zwaartekrachtmetingen in België*, Geodesia 2000-7/8.
4. Crombaghs, M.J.E., *Projectplan 'Geoïde2000'*, Intern Meetkundige Dienst, 2000.
5. Dierikx, B.C., *Geoïdehoogten voor Nederland bepaald uit inter-kernnet-vectoren*, GPS Nieuwsbrief, Jaargang 14 nummer 2 (1999)
6. Hilferink, G.W., *Correctievlakbepaling ten behoeve van geoïdeberekening*, Stageverslag Meetkundige Dienst / TU Delft, december 2001.
7. Kadaster, *Het stelsel van de Rijksdriehoeksmeting en het European Terrestrial Reference System 1989, gebruik en definitie*, 1996.
8. Kadaster, *Handleiding voor de Technische Werkzaamheden van het Kadaster*. Versie 1.0, september 2000.
9. Min, E.J. de, *De geoïde voor Nederland*, Proefschrift Technische Universiteit Delft, 1996.
10. Pol, A.H.F., A.J.M. Kösters, *Nieuwe ETRS89-coördinaten voor het AGRS.nl*, april 2004. Verschenen in GPS-nieuwsbrief en op www.rdnap.nl.
11. Schreutelkamp, F.H., *De geoïde voor Nederland astrometrisch getoetst*, Geodesia 2001-9.
12. Schreutelkamp, F.H., *Toetsing van verschillende geoïde-modellen voor Nederland*, Januari 2003.
13. Sideris, *On the adjustment of combined GPS/levelling/geoid networks*, Journal of Geodesy (1999) 73: 412-421.

Projectgegevens

Het gravimetrische geoidemodel is berekend door Arnoud de Bruijne. Hij heeft daarbij ondersteuning gehad van Erik de Min. De software voor de berekening van het correctievlak is geschreven door stagiair Pim Hilferink (TU Delft). Marc Crombaghs heeft het uiteindelijke correctievlak berekend. Ondersteuning op diverse terreinen is geboden door Ronald Molendijk en Gert Brand. Deze rapportage is geschreven door Arnoud de Bruijne (hoofdstuk 2) en Marc Crombaghs (overige hoofdstukken).

De projectleiding was in handen van Marc Crombaghs. Opdrachtgever was het hoofd van de afdeling NAP van Rijkswaterstaat: Wim van Beusekom en zijn opvolger Ronald Molendijk. De financiering vond plaats vanuit het budget voor Basisinformatie Nat. Het interne projectnummer was 17974.

De aanvullende zwaartekrachtdata uit België en Duitsland is verkregen van de Koninklijke Sterrenwacht België (Michel Everaerts) respectievelijk het Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (Uwe Schirmer). De aanvullende GPS/waterpaspunten uit België en Duitsland zijn verkregen van het Nationaal Geografische Instituut (Pierre Voet) respectievelijk het Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (Uwe Schirmer).

Het project is juli 2000 gestart, en november 2004 afgerond. Een indicatie van het aantal bestede uren:

- Berekening gravimetrische geöïde 400 uren
- Berekening correctievlak 200 uren (excl uren stagiair)
- Rapportage 100 uren
- Projectmanagement 50 uren