

TCDM Praktijkrichtlijn

De sterkte van het zwaarteveld in Nederland

Datum vaststelling: 1 oktober 2020

Inhoud

1	Inleiding	3
2	Kennis van de sterkte van het zwaarteveld in Nederland	3
3	Het bepalen van een lokale sterkte van het zwaarteveld	4
4	Onzekerheidsanalyse	6
5	Herkalibratietermijnen	6
6	Herleidbaarheid	7
7	Referentielijst en adressen	7
8	Wijzigingen ten opzichte van de vorige versie	7

1 Inleiding

Deze richtlijn is bedoeld om de harmonisatie binnen de **geaccrediteerde laboratoria** voor bepalen van het zwaarteveld te bevorderen. Het geeft verschillende methoden voor het bepalen van het zwaarteveld berekenen. Dit met het doel een betere herleidbaarheid bij kalibraties met drukbalansen en nauwkeurige vloeistofkolom drukstandaarden, te bereiken.

Bij veel kalibraties speelt de sterkte van het zwaarteveld (symbool: g) een rol (vaak 'versnelling van de zwaartekracht' genoemd en uitgedrukt in m/s^2 , maar als 'sterkte van het zwaarteveld', uitgedrukt in N/kg, meestal meer functioneel en dan ook analoog aan de sterkte van een elektrisch veld, uitgedrukt in N/C).

Dit betreft vooral kracht, indien de kracht wordt opgewekt door middel van massastandaarden ('doodgewicht') en druk als gebruik wordt gemaakt van een vloeistofmanometer of een drukbalans (die ook wel 'deadweighttester' wordt genoemd!).

Voor de bepaling van de gegenereerde grootte is nodig dat de sterkte van het zwaarteveld ter plaatse met voldoende kleine onzekerheid bekend is.

Voor accreditatie ten aanzien van grootheden waarin de sterkte van het zwaarteveld is begrepen, dient deze waarde tevens aantoonbaar herleidbaar te zijn naar primaire standaarden.

Voor de bepaling van de plaatselijke sterkte van het zwaarteveld (g_{lokaal}) kan men in Nederland niet terecht bij het Nationale Metrologisch Instituut (VSL) of een geaccrediteerd kalibratielaboratorium.

In dit stuk worden richtlijnen gegeven om desondanks aanvaardbare waarden van de sterkte van het zwaarteveld in laboratoria te verkrijgen.

1 Kennis van de sterkte van het zwaarteveld in Nederland

Bepaling van de sterkte van het zwaarteveld in Nederland wordt uitgevoerd door de Department of Geoscience and Remote Sensing van de TU Delft en de Centrale Informatievoorziening van Rijkswaterstaat. Hiertoe beschikt de TU Delft over absolute en relatieve zwaartekrachtmeters (gravimeters). Rijkswaterstaat bepaald de sterkte van het zwaarteveld op basis van interpolatie tussen bekende vaste punten in Nederland.

Oorspronkelijk is door, voormalige, faculteit Geodesie een relatief zwaartekrachtnet (TUD-netwerk) opgezet met meetpunten op ruim 20 stations van de NS.

In 1991 zijn op een viertal punten in Nederland metingen verricht met een absolute gravimeter van de Universiteit van Hannover (Absolute gravity measurements in the Netherlands 1991-1993, G.L. Strang van Hees et al., Netherlands Commission for Geodesy, new series, 1997).

In samenwerking met de, voormalige, faculteit Geodesie is vanaf 1987 door de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat (RWS) een afzonderlijk eerste orde net van 28 punten opgezet, waarvan enkele punten van de eerste orde netten in België en Duitsland deel uitmaken. Een belangrijke overweging bij de keuze van deze punten was de langdurige beschikbaarheid. Het RWS netwerk is ook gerelateerd aan de punten in Nederland waar de absolute waarde van g is gemeten en aan enkele punten van het TUD netwerk.

Door vereffening van alle bekende gegevens is nu de vergrote onzekerheid ($k = 2$) van de zwaartekracht op de netwerkpunten tot rond $0,1 \cdot 10^{-6}$ N/kg teruggebracht (Het eerste orde zwaartekracht net van Nederland, E. de Min, publicatie 32 van de Nederlandse Commissie voor Geodesie, 1995).

Daarbij moet worden opgemerkt dat deze nauwkeurigheid slechts geldt als er wordt gecorrigeerd voor de getijden die een variatie geven van rond $3 \cdot 10^{-6}$ N/kg ($3 \cdot 10^{-7}$ relatief)

Door de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat is in de jaren 1990 - 1994 ook een secundair zwaartekracht net opgezet. Dit net omvat 8000 punten in de nabijheid van NAP-hoogte-bouten met, in het algemeen, een afstand van 2 à 3 km tussen de meetpunten.

Deze grote dichtheid van punten is nodig om de zogenaamde geoïde te kunnen berekenen met een onzekerheid van niet meer dan 1 cm. De geoïde komt qua vorm overeen met het nulvlak van de NAP-hoogten. Dit net geeft de mogelijkheid om de lokale sterkte van het zwaarteveld op elke plaats in Nederland door berekening af te leiden uit waarden van g op nabijgelegen meetpunten.

In 1997 werd door RWS en de, voormalige, faculteit Geodesie een nieuwe meetserie voor een eerste orde netwerk voltooid met 45 clusters van punten. De vergrote relatieve onzekerheid ($k = 2$) van de sterkte van het zwaarteveld op punten van dit netwerk zal niet groter zijn dan $5 \text{ à } 10 \cdot 10^{-9}$ relatief.

2 Het bepalen van een lokale sterkte van het zwaarteveld

Binnen Nederland kan de bepaling van de sterkte van het zwaarteveld op drie manieren gebeuren:

2.1 Door meting ter plaatse

Deze meting wordt op aanvraag uitgevoerd door Department of Geoscience and Remote Sensing van de TU Delft. De, geschatte, relatieve vergrote meetonzekerheid ($k = 2$) van een bepaling door eenmalige opstelling is $5 \cdot 10^{-9}$. In de praktijk wordt gewoonlijk niet gecorrigeerd voor de variatie in g door de invloed van de getijden. Deze variatie bedraagt $1 \cdot 10^{-7}$ relatief.

De metingen worden door de TU Delft uitgevoerd met twee typen gravimeters. De absolute sterkte van het zwaarteveld wordt bepaald met behulp van de Micro-g LaCoste absolute gravimeter FG5, een instrument die de sterkte van het zwaarteveld meet met een precisie (resolutie) van $1 \cdot 10^{-9}$ relatief. Voor deze bepaling hebben we ook de gradiënt ter plaatse nodig

van de zwaartekracht. Die meten we met de Scintrex CG5 relatieve gravimeter. Aangezien de FG5 van zodanige omvang is dat deze niet direct op de kalibratietafel geplaatst kan worden, wordt eerst de absolute sterkte van het zwaarteveld waarde boven een punt op de vloer in het laboratorium bepaald, en vandaar 'getransporteerd' naar het gewenste punt op de kalibratietafel. Dit laatste gebeurt weer met de CG5 relatieve gravimeter.

Voor nadere informatie, toelichting of vragen, kan u contact opnemen bij de TU in Delft (zie paragraaf 7).

2.2 Bepaling van de sterkte van het zwaarteveld met behulp software beschikbaar gesteld door NSGI.

Het softwareprogramma (zwaartekracht.exe) berekent de sterkte van het zwaarteveld op een locatie in Nederland door middel van interpolatie tussen de 8000 punten van het 2e orde zwaartekracht netwerk.

Het programma, handleiding en bijbehorende instellingenbestand is te downloaden van de website van Nederlandse Samenwerking Geodetische Infrastructuur (NSGI):

<https://www.nsgi.nl/geodetische-infrastructuur/producten/programma-zwaartekracht>

Voor de berekening dienen de geografische coördinaten (lengte en breedte of RD-coördinaten), de hoogte van de opstelling boven NAP en de onzekerheid in deze hoogte te worden opgegeven. Deze informatie is te vinden op de websites die zijn vermeld onder paragraaf 7. Informatie betreffende de hoogte t.o.v. NAP en de Rijksdriehoek coordinatoren (RD-X en RD-Y) kan worden verkregen via de website <https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/>.

Bij het gebruik van de software dient met de onderstaande onzekerheden rekening worden gehouden:

De totale relatieve onzekerheid ($k=2$) van deze bepaling is niet groter dan $2 \cdot 10^{-6}$ indien:

- de onzekerheid in lengte en breedte kleiner is dan 1,5 boogseconde (≈ 50 m);
- de onzekerheid in de hoogte kleiner is dan 2 m.

De totale relatieve onzekerheid ($k=2$) van deze bepaling is niet groter dan $2 \cdot 10^{-5}$ indien:

- de onzekerheid in lengte en breedte kleiner is dan 30 boogseconde (≈ 1 km);
- de onzekerheid in de hoogte kleiner is dan 10 m.

2.3 Door berekening m.b.v. de formule voor de z.g. 'normaalzwaartekracht':

$$g_1(\text{normaal}) = g_e \cdot \frac{(1 + k \cdot \sin^2 \beta)}{\sqrt{(1 - e^2 \cdot \sin^2 \beta)}} + d \cdot h$$

met:

$$g_e = 9,780\,327 \text{ N / kg};$$

- k = 0,001 931 851;
- e^2 = 0,006 694 380;
- d = -0,000 003 086 N / (kg · m);
- β = de lokale geografische breedte en
- h = hoogte boven NAP (in m).

De waarden van bovenstaande coëfficiënten zijn ontleend aan:

H. Moritz, Geodetic Reference System 1980, Bulletin Géodésique, 54 (1980), no. 3, p. 395-405).

De totale relatieve afwijking in de aldus berekende lokale sterkte van het zwaarteveld is in Nederland niet groter dan $3 \cdot 10^{-5}$.

Voor de berekening dienen de lokale geografische breedte en hoogte boven NAP te worden gebruikt (zie 3.3).

Bij een beoogde onzekerheid in de berekende waarde van het zwaarteveld van 0,003 % kan de onzekerheid in deze coördinaten worden verwaarloosd indien:

- de onzekerheid in de breedte kleiner is dan 5 boogminuut (≈ 10 km);
- de onzekerheid in de hoogte kleiner is dan 30 m.

Als document waaraan de coördinaten worden ontleend is een topografische voldoende. Voor de bepaling van de breedtecoördinaat kan ook gebruik worden gemaakt van het Global Positioning System (GPS). Dit is echter niet toereikend voor de bepaling van de hoogte hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 3.2.

3 Onzekerheidsanalyse

De onzekerheid van de gemeten of bepaalde waarde voor de sterkte van het zwaarteveld is sterk afhankelijk van de toegepaste methode, gebruikte apparatuur en de omgevingsomstandigheden. In de onderstaande tabel worden geschatte onzekerheden ($k = 2$) gegeven voor de verschillende methoden.

Methode	Onzekerheid /N · kg ⁻¹	Onzekerheid / 1 · 10 ⁻⁶
3.1 Absolute zwaartekrachtmeting TUD	0,000002	0,2
3.2 Gebruik NSGI software	0,00005 tot 0,0002	5 tot 20*
3.3 'Normaalzwaartekracht' formule	0,0003	30
* afhankelijk van de nauwkeurigheid waarmee de positie en hoogte bekend is.		

4 Herkalibratietermijnen

Om een totale relatieve onzekerheid ($k = 2$) van $2 \cdot 10^{-7}$ in de bepaling volgens 3.1 bij voortdurend te handhaven (zonder in het gebruik te corrigeren voor de getijden) dient dit elke tien jaar te worden herhaald. Als een relatieve onzekerheid van $1 \cdot 10^{-6}$ of nog ruimer voldoende is, kan met een eenmalige bepaling worden volstaan mits er geen grote veranderingen zijn in de bebouwing rond de locatie van de meting.

Bij de bepaling volgens 3.1 en 3.2 wordt de vergrote onzekerheid met de onzekerheidsdekkingsfactor $k = 2$ gegeven.

Omdat bij de bepaling volgens 3.3 de grenzen van de gegeven onzekerheid niet worden overschreden, maar het anderzijds niet mogelijk is om voor een willekeurige locatie een specifieke waarschijnlijkheid aan te geven moet hiervoor een rechthoekige verdeling worden gebruikt.

5 Herleidbaarheid

Een volgens één der bovengenoemde bepaalde en gedocumenteerde waarde wijzen (paragraaf 3.1, 3.2 en 3.3) van de sterkte van het zwaarteveld wordt in het kader van een accreditatie en na goedkeuring van de, door de accreditatie organisatie geraadpleegde technisch assessor aanvaard als aantoonbaar herleidbare waarde.

6 Referentielijst en adressen

- TU Delft, contactpersoon dhr. R. Reudink, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Department of Geoscience and Remote Sensing, kamer 2.01, Stevinweg 1, 2628CN Delft, telefoon 015-2785728, e-mail: r.h.c.reudink@tudelft.nl
- Download locatie voor de zwaarteveld.exe software uit paragraaf 3.2:
<https://www.nsgi.nl/geodetische-infrastructuur/producten/programma-zwaartekracht>
- Actueel Hoogtebestand Nederland: <https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/>

7 Wijzigingen ten opzichte van de vorige versie

Ten opzichte van de vorige versie is dit reglement gewijzigd op de volgende onderdelen:

- Nieuw TK format;
- NKO vervangen door RvA.
- Overgang van RvA document naar TCDM document, update adresinformatie en toevoegen van een bepaalmethode.
- Update van contact-informatie met betrekking tot het bepalen van de sterkte van het zwaarteveld.