
Actualisatie van de grondwatertrappenkaart van
holocene Nederland

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van het programma BIS 2014 in opdracht van het ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I)
Projectcode BO-11-017-BIS

BIS Nederland: Dé bron voor bodeminformatie: www.BISNederland.wur.nl

Actualisatie van de grondwatertrappenkaart van holocean Nederland

Resultaten van het veldonderzoek

T. Hoogland, M. Knotters, M. Pleijter, D.J.J. Walvoort

Alterra-rapport 2612

Alterra, onderdeel van Wageningen UR
Wageningen, 2014

Referaat

T. Hoogland, M. Knotters, M. Pleijter, D.J.J. Walvoort, 2014, *Actualisatie van de grondwatertrappenkaart van holocene Nederland; Resultaten van het veldonderzoek*, Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2612. 69 blz.; 21 fig.; 21 tab.; 16 ref.

De informatie over de diepte tot het freatische grondwater in het holocene deel van Nederland is verouderd, en daardoor niet goed bruikbaar bij milieu- en natuurbeleid, water- en bodembeheer en de inrichting van de leefomgeving. Dit rapport beschrijft de resultaten van het veldonderzoek waarin actuele informatie is verzameld over de seizoensfluctuatie van de grondwaterstand in het holocene klei- en veengebied. In 59 deelgebieden (strata) werden middels een kanssteekproef grondwaterstanden waargenomen in de zomer en de winter tijdens veldcampagnes in vier deelgebieden. Op basis van deze waarnemingen en standen die in peilbuizen zijn gemeten is de inhoud van de kaartenheden van de bestaande grondwatertrappenkaart, schaal 1 : 50.000, geactualiseerd.

Trefwoorden: freatisch grondwater, grondwaterstand, grondwaterstandsdiepte, grondwaterstandsfluctuatie, gecensureerde waarnemingen, stambuisregressie

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.alterra.wur.nl (ga naar ‘Alterra-rapporten’). Alterra Wageningen UR verstrekkt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.rapportbestellen.nl.

© 2014 Alterra (Instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; info.alterra@wur.nl

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
1.1 Aanleiding en probleemstelling	13
1.2 Doel	13
1.3 Leeswijzer	14
1.4 Begrippen en definities	14
2 Grondwatertrappen op de bodemkaart van Nederland, 1 : 50.000	15
2.1 Achtergrond	15
2.2 Methode van karteren	15
2.3 Beschrijving van de grondwatertrappenkaart van Nederland, 1 : 50.000	17
2.4 Ontwikkelingen in het waterbeheer sinds de kartering	18
2.5 Ontwikkelingen in de toepassingen sinds de kartering	18
3 Materialen en methode	19
3.1 Indeling in deelgebieden (stratificatie)	19
3.2 Selectie van locaties voor gerichte opnames	19
3.3 De gerichte opnames	22
3.4 De stambuizen	25
3.5 Gecensureerde waarnemingen	28
3.6 Stambuisregressie met gecensureerde waarnemingen	29
3.7 GxG-voorspellingen voor gerichte-opnamelocaties	29
3.8 Cumulatieve frequentieverdelingen van GxG's binnen strata	30
3.9 Verdelen van grondwatertrappen binnen kaarteneenheden	30
4 Resultaten	35
4.1 Resultaten van gerichte opnames	35
4.2 Resultaten van de stambuisregressie	35
4.3 Beschrijving van de actuele grondwatersituatie in holocene Nederland	36
4.3.1 Actuele inhoud van de strata	36
4.3.2 Beschrijving van de vijf grootste strata	43
5 Conclusies en aanbevelingen	49
5.1 Conclusies	49
5.2 Aanbevelingen	49
Bibliografie	51
Bijlagen	53
A Niet-parametrische <i>versus</i> parametrische stambuisregressie	53
B Stambuizen in de regio Noord-Nederland	55
C Stambuizen in de regio rivieren en flanken	57
D Stambuizen in de regio Noord-Holland en Flevoland	59
E Stambuizen in de regio Zuidwest-Nederland	61
F Kans waarmee een grondwatertrap voorkomt	63

Woord vooraf

De actualisatie van de grondwatertrappenkaart van holocene Nederland is onderdeel van het programma BIS Nederland dat wordt gefinancierd door het ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovatie. Onze collega Dr. D.J. Brus bedanken wij voor zijn advies bij het steekproefontwerp. Onze collega's MSc. ing. A.H. Heidema en ing. F. Brouwer bedanken wij voor hun hulp bij GIS-analyses. Ing. W.J.M. de Groot, Ing. E. Kiestra, J. van Kleef, G.H. Stoffelsen en M.M. van der Werff bedanken wij voor hun inzet bij de gerichte opnames van grondwaterstanden. Wij bedanken de grondeigenaren voor hun medewerking bij de gerichte opnames.

Wageningen, winter 2014

Tom Hoogland, Martin Knotters, Matheijs Pleijter, Dennis Walvoort

Samenvatting

Inleiding

Het grondwater bevindt zich in Nederland meestal op geringe diepte, en is daarom van invloed op ecosystemen, gewasgroei, uitspoeling van nutriënten, berijdbaarheid etc. Betrouwbare actuele informatie over de seizoensfluctuatie van de grondwaterstand is voor een groot aantal instanties voor een groot scala van toepassingen gewenst. De huidige informatie over de diepte tot het freatische grondwater in Nederland is verouderd. Daardoor is deze informatie niet goed bruikbaar bij de ontwikkeling van milieu- en natuurbeleid, water- en bodembeheer en de inrichting van de leefomgeving. Beleidsmakers en waterbeheerders moeten rekening houden met meerdere, vaak tegengestelde belangen ten aanzien van de grondwaterstand. Daarom moeten waterbeheerders beschikken over nauwkeurige informatie. Om risico's te kunnen inschatten en beheersen moet de betrouwbaarheid van deze informatie bekend zijn. Doel van dit onderzoek is om voor het holocene klei- en veengebied actuele informatie te leveren over de seizoensfluctuatie van de grondwaterstand, die bruikbaar is voor uiteenlopende toepassingen en waarvan daarom de nauwkeurigheid gekwantificeerd is. Recent is de grondwatertrappenkaart van een groot deel van Nederland geactualiseerd in de vorm van een kaart van de grondwaterdynamiek (Gd-kaart). De huidige actualisatie richt zich op het gebied waarvoor de informatie over de grondwaterstand nog niet is geactualiseerd. Hierbinnen beperkt het studiegebied zich tot alle onbebouwd en onverhard land. De oorspronkelijke 1 : 50.000 Bodem- en Gt-kaart wordt alleen geactualiseerd voor wat betreft de grondwatertrappen.

Grondwatertrappen op de bodemkaart van Nederland, 1 : 50.000

De seizoensfluctuatie van de grondwaterstand wordt gekarakteriseerd met de gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand (GHG en GLG). Deze worden sinds de jaren zestig gelijktijdig en in samenhang met de bodem gekarteerd. Hierbij worden de GHG en GLG gecombineerd en ingedeeld in klassen, de zogenoemde grondwatertrappen (Gt's). De ruimtelijke patronen van bodemtypen en Gt's hangen sterk samen en werden gezamenlijk gekarteerd. De oorspronkelijke 1 : 50.000 Bodem- en Gt-kaart kent verschillende legenda-indelingen voor wat betreft de grondwatertrappen. De oudste indeling bestaat uit zeven klassen, weergegeven met de Romeinse cijfers I t/m VII.

Waterbeheerders en landgebruikers hebben het waterbeheer in de loop der jaren steeds verder aangepast aan de gewenste hydrologische omstandigheden. De waterbeheerders zijn nu beter in staat om sneller grote neerslaghoeveelheden af te voeren, waarbij geanticipeerd wordt op verwachte natte of juist droge omstandigheden.

Tegenwoordig is er steeds meer behoefte aan informatie gericht op veiligheid, natuur en milieu zoals het waterbergend vermogen, de gewenste grondwaterregime's voor natuurdoelen en de risico's op uitspoeling van nutriënten en pesticiden. Dit vraagt om een ander soort informatie waarmee zowel de ruimtelijke variatie binnen een gebied als de risico's of kansen op een specifieke situatie gekwantificeerd kunnen worden.

Materialen en methode

Het gebied waarvoor een actualisatie is uitgevoerd is onderverdeeld in deelgebieden, dat noemen we stratificatie. We stratificeren omdat we voor deelgebieden afzonderlijk informatie willen verstrekken. De actualisatie richt zich op het kwantificeren van de actuele inhoud van de kaarteneenheden van de bestaande grondwatertrappenkaart, schaal 1 : 50.000. We onderscheiden daarbinnen gebieden met stagnante lagen en gebieden waar na uitvoering van de landelijke bodemkartering is ingegrepen in de waterhuishouding in het kader van een landinrichtingsproject. Na samenvoeging van kleine ruimtelijke eenheden bedraagt het totaal aantal strata 59. Om nauwkeurige schattingen mogelijk te maken streven we naar een gelijkmatige ruimtelijke verdeling van de locaties over de strata. Daarom verdelen we de 59 strata eerst in een aantal compacte geografische strata, aangeduid als geostrata. Vervolgens selecteren we in elk van deze geostrata twee locaties *at random*. Vanwege de tijdsplanning en het beschikbare budget bedraagt het totaal aantal meetlocaties 1200 en daarom zijn er in totaal 600 geostrata gevormd. Elk van de 59 strata bevat ten minste vijf geostrata, zodat elk stratum ten minste 10 meetlocaties bevat. De resterende 305 geostrata

zijn proportioneel naar oppervlakte verdeeld over strata die groter zijn dan 10.000 hectare. Op deze manier bereiken we dat in de grotere strata meer locaties worden geloot dan in kleinere strata, waardoor de waarnemingsdichtheid over de strata en het geactualiseerde gebied als geheel gelijkmatiger wordt.

Voor de actualisatie van de grondwatertrappen is de grondwaterstand gemeten in zogeheten stambuizen die in het veld zijn gecontroleerd en beschreven en waarvan een voldoende lange meetreeks aanwezig is om een schatting te kunnen doen van de actuele GxG. Daarnaast zijn in open boorgaten in zowel een droge als een natte situatie grondwaterstandmetingen verricht. De combinatie van een grondwaterstandmeting in een aantal stambuizen en in een open boorgat met als doel het schatten van de GxG wordt 'gerichte opname' genoemd. Het schatten van de GxG voor de gerichte-opnamelocaties gebeurt middels stambuisregressie. De momenten waarop de grondwaterstandmetingen worden uitgevoerd zijn gekozen aan de hand van de gemiddelde seizoensfluctuaties en zodanig dat in 2014 de metingen op alle 1200 locaties zijn afgerond.

Een stambuis is een grondwaterstandbuis met een goede ligging, een juiste filterstelling en waarvan de meetreeks voldoende lang is om de actuele GxG te berekenen. In totaal zijn van 114 stambuizen, verdeeld over vier regio's, de GHG's en GLG's berekend. Waterschappen en provincies zijn benaderd met de vraag of er grondwaterstandbuizen in hun beheer zijn die niet in de digitale grondwater-databank DINO zijn opgenomen. Dit leverde in de provincie Zeeland een aantal extra buizen op. Verder is gebruik gemaakt van enkele stambuizen die medewerkers van Alterra in hun tuin bijhouden en in Flevoland zijn stambuizen gebruikt van proefboerderij De Waaijboerhoeve nabij Lelystad.

Grondwaterstandsgegevens kunnen zogeheten gecensureerde waarnemingen bevatten. We weten dan alleen dat de grondwaterstand zich dieper dan een bepaald niveau bevindt, bijvoorbeeld dieper dan de onderkant van het waarnemingsfilter of het boorgat. Weglaten van deze gecensureerde waarnemingen of ze vervangen door de onderkant buis of diepte boorgat, leidt tot systematische fouten. Daarom gebruiken we statistische methoden die rekening houden met gecensureerde waarnemingen. Er komen 'dieper dan' of rechts-gecensureerde waarnemingen voor bij zowel de metingen in peilbuizen als in boorgaten.

Met gecensureerde waarnemingen kan rekening worden gehouden door de lineaire relatie tussen de grondwaterstand tijdens een gerichte opname en de GxG te modelleren met niet-parametrische regressie. Niet-parametrische regressie wordt geadviseerd bij minder dan 50 waarnemingen, wat bij stambuisregressie het geval is. De nauwkeurigheid van de regressieparameters en -voorspellingen kwantificeren we door een *bootstrap* uit te voeren.

Bij het schatten van de frequentieverdeling van GxG's binnen een stratum hebben we te maken met twee bronnen van onzekerheid: onzekerheid als gevolg van het feit dat we de GxG op gerichte-opnamelocaties niet exact kennen, maar voorspellen uit een gemeten grondwaterstand met behulp van een stambuisregressiemodel, en onzekerheid als gevolg van het feit dat we niet op elke denkbare locatie binnen een stratum een gerichte opname hebben uitgevoerd, maar ons beperkt hebben tot een aantal steekproeflocaties. Onzekerheid verdisconteren we met behulp van zogeheten *bootstrap*-trekkingen.

Per stratum berekenen we cumulatieve frequentieverdelingen van GxG's, waarbij we de spreiding in percentielwaarden als gevolg van onzekerheid bepalen uit de *bootstrap*-realisaties van GxG's. Deze procedure levert informatie op over de verdeling van GHG's en GLG's binnen strata. Uit de voorspelde GHG's en GLG's bepalen we voor alle locaties de grondwatertrap. Voor elke grondwatertrap berekenen we de fractie waarbinnen deze voorkomt binnen stratum h .

Binnen een stratum komt ten minste één grondwatertrap voor, maar meestal meerdere. Als maat voor de heterogeniteit binnen een stratum is de genormaliseerde entropie berekend. Deze is gelijk aan 0 als er een kans gelijk aan 1 is op één enkele grondwatertrap op een willekeurige locatie binnen een stratum. Hoe kleiner de genormaliseerde entropie, hoe homogener de inhoud van een stratum is. De actualisatie geeft voor elk van de 59 strata de kans waarmee een bepaalde grondwatertrap op een willekeurige locatie binnen dat stratum voorkomt. De 'modus' en 'Gt' geven de grondwatertrappen die met de hoogste waarschijnlijkheid op een willekeurige locatie in een stratum voorkomen. De modus is de kans waarmee deze meest waarschijnlijke grondwatertrap voorkomt.

Resultaten

Grondwatertrap I komt vooral voor in het Eemland en in het veenweidegebied ten noorden van Amsterdam. Grondwatertrap II (IIa) komt vooral voor in het Zuidhollands-Utrechtse veenweidegebied en in Noord-Holland. Grondwatertrap II* (IIb) komt vooral voor op de overgang van rivierklei naar het veenweidegebied. Grondwatertrap III (IIIa) komt vooral voor tegen de grenzen van het pleistoceen in Friesland en Groningen, op Walcheren en aan weerszijden van het Zwarde Water in Overijssel, onder andere in de polder Mastenbroek en ten westen van Rouveen en Staphorst. Grondwatertrap IV treffen we vooral aan in de komkleigebieden in het rivierengebied, ten noorden van Kampen, de Noordoostpolder, Zuidelijk Flevoland en verspreid in

de kop van Noord-Holland. Grondwatertrap VI komt vooral voor in zeekleipolders. Grondwatertrap VII komt vooral voor in Oostelijk Flevoland en delen van de Noordoostpolder, de kop van Noord-Holland, de Haarlemmermeer en omliggende droogmakerijen, en op stroomruggen in het rivierengebied.

Uit een vergelijking van de meest waarschijnlijke Gt's met de oorspronkelijk gekarteerde Gt's blijkt dat bij 25 strata (52,4% van de oppervlakte) geen verandering van Gt-klasse is opgetreden. Bij 20 strata is een verschuiving opgetreden van een Gt-klasse met minder fluctuatie. In 26,1% van de totale oppervlakte is een verschuiving is opgetreden naar een Gt-klasse met minder fluctuatie. Bij de overige 14 strata (21,5% van de oppervlakte) is een verschuiving opgetreden naar een Gt-klasse met overeenkomstige of grotere fluctuatie. Verder blijkt dat bij 27 strata een verschuiving is opgetreden naar een diepere Gt-klasse (42,6% van de oppervlakte) en bij zeven strata een verschuiving naar een minder diepe Gt-klasse (5,4 % van de oppervlakte).

Conclusies en aanbevelingen

De oorspronkelijke grondwatertrappenkaart, schaal 1 : 50.000, kent 12 Gt's als kaartenheden. Deze zijn op basis van geografische ligging (noord-midden-zuid), het vóórkomen van stagnatie of ingrepen verdeeld in 59 strata, waarvan de actuele inhoud is geïnventariseerd in het veld, en beschreven in dit rapport. De geactualiseerde kaart heeft meer ruimtelijk detail omdat het aantal kaartenheden is uitgebreid van 12 naar 59. De geactualiseerde kaart geeft frequentieverdelingen van grondwatertrappen, GHG's en GLG's voor alle onbebouwd en onverhard land, met uitzondering van: taluds en bermen langs watergangen, wegen en kunstwerken; onverhard land binnen de bebouwde kom, en bij woningen en bedrijven in het landelijk gebied; gebied waaraan op de bodemkaart, schaal 1 : 50.000, geen Gt-klasse is toegekend.

We concluderen dat de nieuwe kaart meer toepassingsmogelijkheden heeft doordat deze de inhoud van kaartenheden beschrijft in de vorm van cumulatieve frequentieverdelingen voor zowel GHG en GLG afzonderlijk als voor de combinatie in Gt's. Hierdoor kunnen voor strata risico's worden ingeschat of kunnen over- of onderschrijdingskansen van bepaalde kritische situaties worden bepaald. Elke legenda-indeling is mogelijk op basis van overschrijding van, door gebruikers, gespecificeerde grenswaarden voor bijvoorbeeld natuurdoeltypen of voor nat- of droogteschade bij landbouwkundige toepassingen. De actualisatie is hierdoor bruikbaar voor een grote verscheidenheid aan toepassingen, waarbij risico's of kansen, nauwkeurigheid en ruimtelijke variatie binnen strata een rol spelen. Voorbeelden hiervan zijn het kwantificeren van de beschikbare berging in een gebied of de schatting van het areaal getroffen door overstromingen of wateroverlast.

We adviseren om de geactualiseerde kaarten te gebruiken voor uitspraken op het ruimtelijk detailniveau van de strata, zoals de kans dat op een willekeurige plek binnen een stratum een bepaald kritische GHG-niveau wordt overschreden of een schatting van het areaal binnen een stratum waar wateroverlast optreedt. Voor uitspraken over de grondwatersituatie op perceelsniveau bevelen we een detailkartering van de ruimtelijke patrooninformatie aan.

Voor de grondwaterstandsmetingen in open boorgaten zijn vaak meerdere boorgaten gemaakt om mogelijke stagnatie op de ploegzool of stagnerende lagen in beeld te brengen, maar het was het niet mogelijk om de duur van de stagnaties vast te stellen. Voor een goede schatting van de diepte en tijdsduur waarop stagnatie kan optreden, bevelen we aan om hoogfrequent te meten op verschillende diepten, boven en onder stagnerende lagen.

Het aantal peilbuizen die zowel een ruimtelijke ligging als filterstelling kennen die geschikt is voor het waarnemen van de freatiche grondwaterstanden is zeer beperkt. Ze liggen veelal geconcentreerd in gebieden waar ingrepen in de waterhuishouding plaatsvinden, zoals waterwingebieden. Om veranderingen van de freatiche grondwaterstand te monitoren wordt aanbevolen het bestaande meetnet locaal te verdichten met zorgvuldig geplaatste peilbuizen. Met een dergelijk meetnet is het mogelijk op landelijke of regionale schaal trends waar te nemen, te bepalen wanneer actualisatie nodig is en de informatie uit een dergelijk meetnet kan worden benut bij toekomstige actualisaties.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en probleemstelling

Het grondwater bevindt zich in Nederland meestal op geringe diepte en is daarom van invloed op ecosystemen, gewasgroei, uitspoeling van nutriënten, berijdbaarheid etc. Betrouwbare actuele informatie over de seizoensfluctuatie van de grondwaterstand is voor een groot aantal instanties (ministeries van EZ en I&M, RWS, provincies, waterschappen, gemeenten, Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), onderzoeksinstellingen, ingenieursbureaus, onderwijs, enz.) voor een groot scala van toepassingen gewenst, zoals landbouwbeleid, landinrichting, natuurbeleid, waterbeleid, ruimtelijke ordening, milieubeleid en klimaatbeleid. Informatie over de grondwaterstand wordt onder meer gebruikt in het verdrogingsbeleid, bij het berekenen van schadeuitkeringen aan agrariërs in waterwingebieden, bij het schatten van de uitspoeling van nutriënten naar het grondwater en bij de voorbereiding van civieltechnische werken. De huidige informatie over de diepte tot het freatische grondwater in Nederland is verouderd (Braat et al., 1989). Daardoor is deze informatie niet goed bruikbaar bij de ontwikkeling van milieu- en natuurbeleid, water- en bodembeheer en de inrichting van de leefomgeving. Informatie ter ondersteuning van beleidsbeslissingen moet actueel en begrijpelijk zijn. Deze eisen gelden steeds sterker door de toenemende *accountability* (afrekenen op prestaties, verantwoording van beleid, voorbeeld: monitoring TOP-gebieden) en juridisering (bijvoorbeeld: de afwikkeling van schadeclaims bij grondwateronttrekkingen, de behandeling van bezwaarschriften zoals bij de aanwijzing van uitspoelingsgevoelige percelen). Deze ontwikkelingen raken ook de beleidsterreinen waarbij de grondwaterstand een rol speelt. Daarnaast moet informatie efficiënt zijn, wat betekent dat de kosten van informatievergaring zich moeten verhouden tot de risico's die met die informatie worden verkleind. Beleidsmakers en waterbeheerders moeten rekening houden met meerdere, vaak tegengestelde belangen ten aanzien van de grondwaterstand. Daarom moeten grondwaterbeheerders beschikken over nauwkeurige informatie. Om risico's te kunnen inschatten en beheersen moet de betrouwbaarheid van deze informatie bekend zijn. Daarnaast mag de kwaliteit van de informatie niet afhangen van veronderstellingen.

De seizoensfluctuatie van de grondwaterstand wordt gekarakteriseerd met de gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand (GHG en GLG). Deze worden sinds de jaren zestig gelijktijdig en in samenhang met de bodem gekarteerd. Hierbij worden de GHG en GLG gecombineerd en ingedeeld in klassen, de zogenoemde grondwatertrappen (Gt's). De ruimtelijke patronen van Gt's vallen hierdoor vaak samen met die van bodemtypen en zijn om cartografische redenen ten minste één vierkante centimeter groot, dus in werkelijkheid minstens 25 hectare. De landsdekkende 1 : 50.000 Bodem- en Gt-kaart is opgenomen in het huidige BIS. De belangrijke tekortkomingen in de huidige grondwaterstands-informatie zijn:

- Gt-informatie is verouderd en daardoor niet geschikt voor het ontwikkelen van bodem- en grondwaterbeleid en voor het ontwikkelen van waterbeheer;
- informatie over de ruimtelijke variatie van de grondwaterstand binnen kaarteenheden is niet beschikbaar;
- informatie over de dynamiek (variatie van de grondwaterstand in de tijd) is te onnauwkeurig.

Het belang van betrouwbare actuele grondwaterinformatie blijkt uit de recente karteringen van de grondwaterdynamiek (Gd) voor pleistoceen Nederland, die tot doel hadden het landelijke mestbeleid van het ministerie van LNV (tegenwoordig EZ) te onderbouwen en het grondwaterbeheer door provincies en waterschappen te ondersteunen. In tegenstelling tot de 1 : 50.000 Bodem- en Gt-kaart, waarop de GHG en GLG samengevat zijn als Gt's voor kaartvlakken, geeft de Gd-kaart een continu kaartbeeld van voorspellingen van GxG's en de nauwkeurigheid voor rastercellen van 25×25 meter. Ongeacht het type grondwaterinformatie, Gt of Gd, is het belangrijk om de nauwkeurigheid van informatie over de grondwaterstand te kennen, zodat kan worden beoordeeld of deze toereikend is om goede beslissingen te kunnen nemen. Ook in risicoanalyses is informatie over de nauwkeurigheid noodzakelijk.

1.2 Doel

Doel van dit onderzoek is om actuele informatie te leveren over de seizoensfluctuatie van de grondwaterstand in het holocene klei- en veengebied. Randvoorwaarden is dat de informatie-inhoud van bestaande kaarteenheden wordt geactualiseerd en de nauwkeurigheid van deze actuele informatie wordt gekwantificeerd zonder

patroon informatie te herkarteren. Dit doen we door bestaande kaarteneenheden met grondwatertrappen onder te verdelen in 59 strata en de actuele inhoud van elk stratum met behulp van frequentieverdelingen voor GHG, GLG en Gt, in kaarten en tabellen te beschrijven.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de oorspronkelijke 1 : 50.000 Bodem- en Gt-kaart die wordt geactualiseerd voor wat betreft de grondwatertrappen. Hoofdstuk 3 beschrijft de methoden en gegevens die worden gebruikt bij de actualisatie van de oorspronkelijke Gt-kaart. Op basis van deze kaart onderscheiden we deelgebieden (strata), zoals in paragraaf 3.1 wordt beschreven. In paragraaf 3.2 beschrijven wij de selectie van locaties waar gerichte opnames van de grondwaterstand zijn verricht waarmee actuele informatie verzameld is. Hoofdstuk 4 geeft de resultaten van de afzonderlijke onderdelen en beschrijft de geactualiseerde inhoud van de strata. Hoofdstuk 5 sluit af met conclusies en aanbevelingen voor het gebruik van de geactualiseerde kaart.

1.4 Begrippen en definities

In dit rapport wordt een aantal vaktermen en definities gebruikt die in Tabel 1.1 zijn omschreven.

Tabel 1.1
Gehanteerde begrippen met omschrijving

Begrip	Omschrijving
Geostratum	onderverdeling van een stratum in compacte geografisch deelgebieden.
Gerichte opname	meting van de grondwaterstand op een vooraf vastgestelde of willekeurig gekozen plaats en vooraf gekozen tijdstip.
Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG)	verwachtingswaarde van de HG3 onder gegeven klimatologische en waterhuishoudkundige omstandigheden.
Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG)	verwachtingswaarde van de LG3 onder gegeven klimatologische en waterhuishoudkundige omstandigheden.
Grondwater	al het water dat zich onder het bodemoppervlak in de verzagde zone bevindt en dat in direct contact met bodem of ondergrond staat.
Grondwaterspiegel	het vlak door de punten waar het grondwater een drukhoogte gelijk nul heeft.
Grondwaterstand	de hoogte ten opzichte van een referentieniveau van een punt waar het grondwater een drukhoogte gelijk nul heeft.
Grondwaterstandbuis	peilbuis met een filter op korte afstand onder de grondwaterspiegel zodat de gemeten stijghoogte weinig van de grondwaterstand afwijkt. de afstand tussen het grondoppervlak en de grondwaterstand.
Grondwaterstandsdiepte	korte weergave van GHG en GLG .
GxG	gemiddelde van de drie hoogste grondwaterstanden in een hydrologisch jaar (1 april t/m 31 maart) bij een meetfrequentie van tweemaal per maand (rond de 14 ^{de} en 28 ^{ste}).
HG3	gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden in een hydrologisch jaar (1 april t/m 31 maart) bij een meetfrequentie van tweemaal per maand (rond de 14 ^{de} en 28 ^{ste}).
LG3	grondwaterspiegel van een grondwaterlichaam op een slecht doorlatende laag waaronder een onverzagde zone voorkomt.
Schijngrondwaterspiegel	grondwaterstandbuis gebruikt voor stambuisregressie en daarom uitvoerig gecontroleerd en beschreven.
Stambuis	potentiaal van het water, uitgedrukt als energiehoogte-equivalent.
Stijghoogte	deelgebied waarvoor resultaten gepresenteerd worden dat nog onderverdeeld is in geostrata.
Stratum	veldschattingen van de GxG zijn gebaseerd op profiel- en veldkenmerken en gemeten grondwaterstanden in boorgaten en grondwaterstandbuizen.
Veldschatting	alle nadelige effecten op natuurwaarden als gevolg van een, structureel lagere grond- en/of oppervlaktewaterstand dan gewenst of als gevolg van de aanvoer van gebiedsvreemd water.
Verdroging	

2 Grondwatertrappen op de bodemkaart van Nederland, 1 : 50.000

2.1 Achtergrond

Recent is de grondwatertrappenkaart van een groot deel van Nederland geactualiseerd in de vorm van een kaart van de grondwaterdynamiek (Gd-kaart) (Finke et al., 2004; Van Kekem et al., 2005). De huidige actualisatie richt zich op het gebied waarvoor de informatie over de grondwaterstand nog niet is geactualiseerd. Hierbinnen beperkt het studiegebied zich tot alle onbebouwd en onverhard land, met uitzondering van:

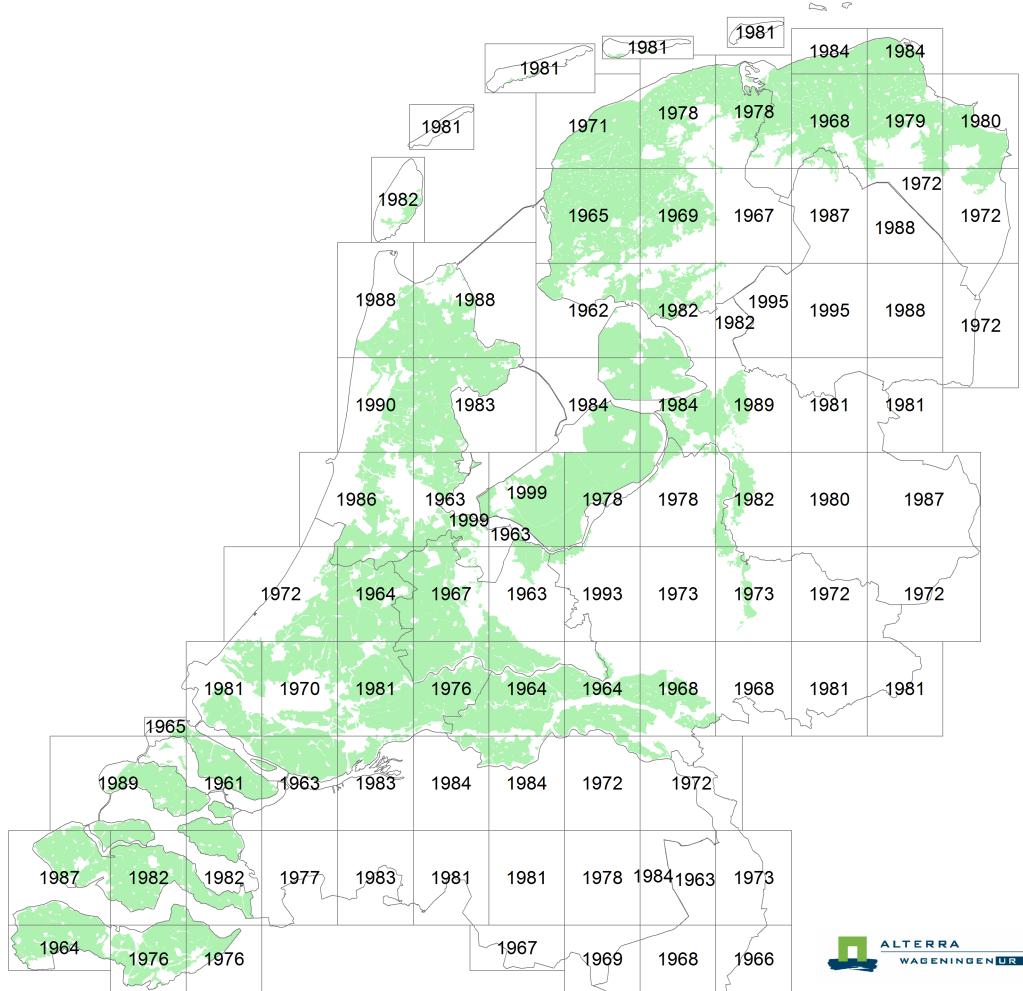
- taluds en bermen langs watergangen, wegen en kunstwerken;
- onverhard land binnen de bebouwde kom, en bij woningen en bedrijven in het landelijk gebied;
- gebied waaraan op de bodemkaart, schaal 1 : 50.000, geen Gt-klasse is toegekend;
- gebieden waar het grondwater buiten het boorbereik ligt (Zuid-Limburgs heuvelland, duinen, stuwwallen etc.).

De actualisatie heeft daardoor betrekking op het peilbeheerde gebied in de kuststreek en het rivierengebied. De oorspronkelijke kaartbladen in dit gebied zijn vervaardigd tussen 1962 en 1999 en daardoor mogelijk verouderd. Figuur 2.1 geeft het gebied weer waarvoor de Gt-actualisatie is uitgevoerd, en de ouderdom en begrenzing van de oorspronkelijke kaartbladen van de 1 : 50.000 Bodem- en Gt-kaart (Steur en Heijink, 1987; De Vries et al., 2003).

Vooral het peilbeheer en de ontwatering zijn in de afgelopen jaren steeds beter afgestemd op het landbouwkundige gebruik of de beoogde natuurdoelen, waardoor vooral de seizoensfluctuatie van de grondwaterstand en daardoor de Gt-klasse is veranderd. Binnen het geactualiseerde gebied hebben sinds de oorspronkelijke opname voor de 1 : 50.000 Bodem- en Gt-kaart ruilverkaveling en herinrichting plaatsgevonden en wordt steeds vaker gebruik gemaakt van buisdrainage om de landbouwkundige geschiktheid te verbeteren. In 1948 startte de 'Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland' (COLN) de grondwaterstand in landbouwgebieden systematisch te inventariseren, ten behoeve van de landbouwkundige productie (Visser, 1958), resulterend in het TNO-archief van grondwaterstanden en het huidige DINO-bestand. Door relaties te leggen met bodemkundige profielkenmerken en gebiedskennenmerken werden voor de landbouwgronden grondwaterklassen gedefinieerd. De karakteristieke lokale seizoensfluctuatie van de grondwaterstand per hydrologisch jaar, van en tot 1 april, kan geschat worden door afzonderlijke lijnen per hydrologisch jaar te bundelen (van Heesen, 1970). Uit meetreeksen met een meetfrequentie van twee keer per maand werden de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) geschat, door respectievelijk de hoogste en laagste drie grondwaterstanden per hydrologisch jaar te middelen en vervolgens nogmaals te middelen over ten minste acht hydrologische jaren. Op basis van zowel de GHG en GLG kunnen vervolgens grondwatertrappen (Gt's) worden gedefinieerd door over- of onderschrijding van klassegrenzen voor grondwaterdiepten van respectievelijk, 25, 40, 50, 80 en 120 cm (van Heesen, 1970) zoals zijn weergegeven in Figuur 2.2.

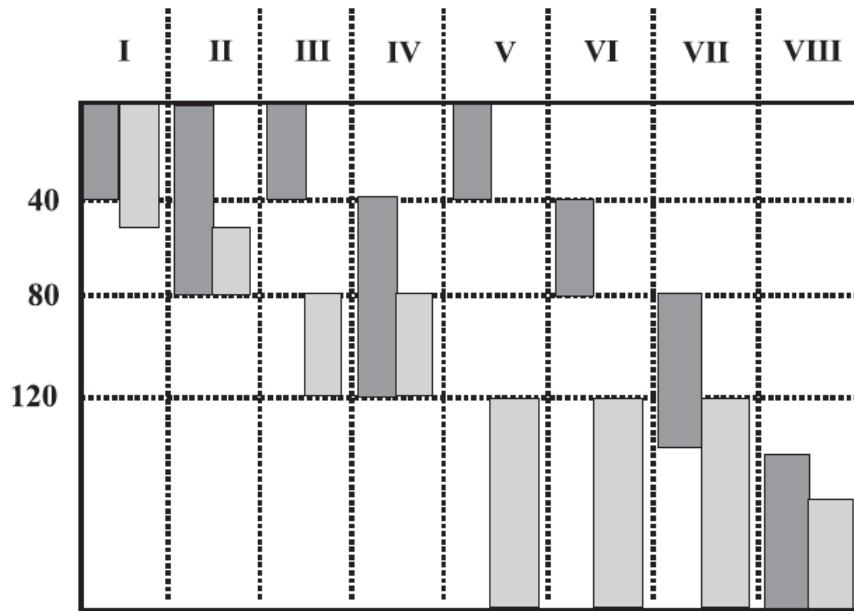
2.2 Methode van karteren

De seizoensfluctuatie van de grondwaterstand wordt gekarakteriseerd met de gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand (GHG en GLG). Deze worden sinds de jaren zestig gelijktijdig en in samenhang met de bodem gekarteerd. Hierbij worden de GHG en GLG gecombineerd en ingedeeld in klassen, de zogenoemde grondwatertrappen (Gt's). De ruimtelijke patronen van bodemtypen en Gt's hangen sterk samen. Bij de kartering wordt gebruik gemaakt van metingen in grondwaterstandsbuizen en boorgaten, van 'hydromorfe' profielkenmerken die samenhangen met de fluctuatiediepte van het grondwater, en van landschappelijke kenmerken. Waarnemingen aan de grondwaterstandsdiepte en aan profielkenmerken werden tijdens de kartering van de Bodem- en Gt-kaart, schaal 1 : 50.000, hoofdzakelijk verricht op locaties die door de karterers als kenmerkend voor een specifiek landschap werden beschouwd. Om deze reden werd de grondwaterstandsdiepte bepaald op een bepaalde afstand van waterlopen. Het perceelsdeel waar voornamelijk werd



Figuur 2.1
Ouderdom van de kaartbladen in het doelgebied

waargenomen ligt tussen de beide oranje pijlen in Figuur 2.3. Door deze aanpak kon de gradiënt van de grondwaterstand binnen percelen, haaks op waterlopen, niet tot uiting komen in het kaartbeeld. De kaartschaal liet dergelijke gedetailleerde patrooninformatie op perceelsniveau immers niet toe. Door deze wijze van karteren weerspiegelt de 1 : 50.000 Bodem- en Gt-kaart niet alle variatie maar wordt binnen een kaartvlak, dat om cartografische reden ten minste één vierkante centimeter groot is, op kaart, de karakteristieke of meest voorkomende grondwatertrap weergegeven. Voor gebieden met veel sloten op korte afstand, zoals het veenweidegebied en komkleigebieden, weerspiegelt de grondwatertrappenkaart 1 : 50.000 daarom voornamelijk de situatie in de perceelsmiddens. Bij de huidige actualisatie is voor een andere beschrijving van grondwatertrappen binnen kaartvlakken gekozen. Uitgangspunt van de actualisatie zijn de, tot 59 strata geaggregeerde, kaarteenheden van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000. Binnen de strata wordt een aselecte kansteekproef uitgevoerd waarbij de percelen 'van slootkant tot slootkant' tot de doelpopulatie behoren. Figuur 2.3 geeft dit gebied weer tussen de groene pijlen. Hiermee wordt dus informatie over de grondwatertrappen over het hele perceel verkregen en is de waargenomen variatie binnen de strata groter dan op de oorspronkelijke Bodemkaart van Nederland. De variatie wordt door de geactualiseerde Bodemkaart van Nederland niet geografisch weergegeven, maar komt tot uiting in spreiding van voorspelde GHG's en GLG's binnen de strata.



Figuur 2.2
Grondwatertrappen met klassegrenzen voor GHG en GLG in cm. onder maaiveld



Figuur 2.3
Dwarsdoorsnede van een perceel met het opbollings- en uitzakkingsprofiel van het grondwater

2.3 Beschrijving van de grondwatertrappenkaart van Nederland, 1 : 50.000

De 1 : 50.000 Bodem- en Gt-kaart (Steur en Heijink, 1987; De Vries et al., 2003) heeft afhankelijk van het jaar van opname zoals weergegeven in Figuur 2.1 een andere legenda-indeling voor wat betreft de grondwatertrappen. De oudste indeling bestaat uit zeven klassen weergegeven met de Romeinse cijfers I t/m VII. Vanaf 1977 zijn er drie Gt-klassen bijgekomen voor het diepere deel van het GHG-bereik met de toevoeging '*' achter de klassen II*, III* en V*. Vanaf 1988 is de toevoeging '*' vervangen door 'b' en VII* is veranderd in VIII. Daarnaast zijn er twee nieuwe Gt-klassen bijgekomen voor het nog diepere GHG-bereik, aangeduid met de toevoeging 'c' achter de klassen IIc en IVc (Ten Cate et al., 1995). De latere Gt-klassenindelingen zijn steeds meer afgestemd om sterk gereguleerde peilen met een kleinere seisoensfluctuatie beter te kunnen onderscheiden. De geringere seisoensfluctuatie werd mogelijk door betere peilbeheersing en ontwatering door ondermeer buisdrainage. De verschillende Gt-indelingen die in de loop der jaren zijn toegepast op de 1 : 50.000 Bodem- en Gt-kaart staan in Tabel 2.1. Het areaal waarvoor deze Gt-actualisatie plaatsvindt, bedraagt 11.219 km². Oppervlaktes van de verschillende Gt-klassen binnen het geactualiseerde

gebied staan, indien aanwezig, achter de betreffende klasse.

In het geactualiseerde gebied was het grootste areaal oorspronkelijk in kaart gebracht als Gt VI, het veenweidegebied met voornamelijk Gt II besloeg het één na grootste areaal. Het geactualiseerde gebied kende dus zowel zeer natte situaties als betrekkelijk droge situaties die ook op de kaart tot uitdrukking kwamen.

2.4 Ontwikkelingen in het waterbeheer sinds de kartering

Waterbeheerders en landgebruikers hebben het waterbeheer in de loop der jaren steeds verder aangepast aan de gewenste hydrologische omstandigheden. De waterbeheerders zijn tegenwoordig beter in staat om sneller grote neerslaghoeveelheden af te voeren, waarbij geanticipeerd wordt op verwachte natte of juist droge omstandigheden. De landgebruikers zijn door lokale maatregelen en geavanceerde technische mogelijkheden beter in staat om op hun eigen percelen optimaal hun waterbehoefte te reguleren door (verstelbare) buisdrainage, stuwtjes, (afsluitbare) duikers en beregeling uit grond- of oppervlaktewater. Voor landbouwgebieden betekent dit over het algemeen dat extreem droge of juist natte situaties worden tegengaan waardoor de seizoensfluctuatie binnen percelen geringer wordt.

2.5 Ontwikkelingen in de toepassingen sinds de kartering

Het grondwater bevindt zich in Nederland meestal op geringe diepte, en is daarom van invloed op overstromingsrisico's en wateroverlast, ecosystemen, gewasgroei, uitspoeling van nutriënten en berijdbaarheid. Betrouwbare actuele informatie over de seizoensfluctuatie van de grondwaterstand is tegenwoordig voor een groot scala van toepassingen gewenst, zoals ruimtelijke ordening, landbouwbeleid, natuurbeleid, waterbeleid, milieubeleid en klimaatbeleid. De oorspronkelijke 1 : 50.000 Bodem- en Gt-kaart was vooral gericht op de landbouwkundige productie, zoals de bewerkbaarheid, bewortelingsdiepte en de bepaling van droog- of natschade. Tegenwoordig is er steeds meer behoefté aan informatie gericht op veiligheid, natuur en milieu zoals het waterbergend vermogen, de gewenste grondwaterregime's voor natuurdoelen en de risico's op uitspoeling van nutriënten en pesticiden. Informatie over de grondwaterstand wordt onder meer gebruikt in het verdrogingsbeleid, bij het berekenen van schadeuitkeringen aan agrariërs in waterwingebieden, bij het schatten van de uitspoeling van nutriënten naar het grondwater en bij de voorbereiding van civieltechnische werken. Om risico's te kunnen inschatten en beheersen moeten grondwaterbeheerders kunnen beschikken over informatie waarvan de betrouwbaarheid bekend en gekwantificeerd is. De kwaliteit van deze informatie mag niet afhangen van veronderstellingen waarvan het realiteitsgehalte moeilijk is vast te stellen, en de resultaten van de actualisatie moeten reproduceerbaar zijn. Dit vraagt om een ander soort informatie waarmee zowel de ruimtelijke variatie binnen een gebied als de risico's of kansen op een specifieke situatie gekwantificeerd kunnen worden. De huidige actualisatie biedt deze informatie door per stratum in de vorm van frequentieverdelingen van de GHG, GLG en Gt-klasse waarmee risico's of kansen op een over- of onderschrijding van een bepaalde kritische waarde kunnen worden gegeven.

Tabel 2.1

Grondwatertrappen en geactualiseerde arealen op de 1 : 50.000 Bodem- en Gt-kaart

Gt-klassen (Areaal in km ²)			Klassegrenzen in cm. - maaiveld	
1966	1977	1988	GHG	GLG
I (205)	I	I	-	< 50
II (2316)	II	II	-	50 - 80
	II*	IIb (253)	25 - 40	50 - 80
		IIc	> 40	50 - 80
III (1211)	III	III	< 40	80 - 120
	III*	IIIb (435)	25 - 40	80 - 120
IV (785)	IV	IV	40 - 80	80 - 120
		IVc	> 80	80 - 120
V (1052)	V	V	< 40	> 120
	V*	Vb (899)	25 - 40	> 120
VI (3392)	VI	VI	40 - 80	> 120
VII (667)	VII	VII	80 - 140	> 120
	VII*	VIII (4)	> 140	> 120

3 Materialen en methode

3.1 Indeling in deelgebieden (stratificatie)

De indeling van het studiegebied in deelgebieden noemen we stratificatie. We stratificeren omdat we voor deelgebieden afzonderlijk informatie willen verstrekken. De actualisatie richt zich in eerste instantie op het kwantificeren van de actuele inhoud van de kaarteenheden van de bestaande grondwatertrappenkaart, schaal 1 : 50.000. Bij de stratificatie hebben wij de stratumindeling van de LSK (Visschers et al., 2007, steekproef B) als uitgangspunt genomen. De kaarteenheden binnen het gebied dat wordt geactualiseerd zijn de domeinen waarvoor apart informatie moet worden verzameld. Het projectbudget en de doorlooptijd maken het mogelijk om een bodemkundige profielbeschrijving en tweemaal een grondwaterstandsметing te verrichten op 1200 locaties, waarmee een GHG, GLG en grondwatertrap geschat kunnen worden. Op iedere meetlocatie is tweemaal een grondwaterstandsметing verricht, eenmaal in het natte seizoen en eenmaal in het droge seizoen: dit noemen we gerichte opnames. Om per domein de ruimtelijke frequentieverdelingen van GxG's nauwkeurig te kunnen schatten streven we naar 20 steekproeflocaties per domein, wat betekent dat bij 1200 locaties van gerichte opnames het aantal domeinen maximaal 60 zal bedragen. Figuur 3.1 geeft de indeling in deelgebieden op basis van bodemtypen en Gt-klassen van de bodemkaart schaal 1 : 50.000.

Naast de bovengenoemde domeinen onderscheiden we gebieden met stagnerende lagen en gebieden waar na de landelijke bodemkartering, schaal 1 : 50.000, is ingegrepen in de waterhuishouding in het kader van een landinrichtingsproject. Gebieden met stagnerende lagen onderscheiden we omdat we willen aangeven waar schijnspiegels voorkomen. Figuur 3.2 geeft de ligging van de gebieden waar volgens de bodemkaart schaal 1 : 50.000 stagnerende lagen voorkomen. Dit zijn de volgende bodemeenheden:

- met zware klei in het profiel, zoals de profielen met profielverloop 3 en 4;
- de komkleigronden waarbij het gehele profiel uit zware klei bestaat;
- drechtaaggronden met zware klei op veen;
- gronden met leemlagen (die komen in het holocene gebied overigens bijna niet voor).

De indeling is gemaakt voor de eenheden van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, aan de hand van de informatie in de code en aan de hand van de profilschetsen (De Vries, 1999).

Gebieden waar sinds de bodemkartering is ingegrepen in de waterhuishouding onderscheiden we omdat in deze gebieden de kans groot is dat grondwaterstandsdiepten zijn gewijzigd. Figuur 3.3 geeft de ligging van de gebieden waar de grondwaterstandsdiepten waarschijnlijk zijn gewijzigd als gevolg van ingrepen in de waterhuishouding na de veldopname voor de bodemkaart schaal 1 : 50.000. De ligging van deze gebieden is afgeleid van een vergelijking tussen de opnamedata van de bladen van de bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50.000 (Alterra, Wageningen UR) met informatie over informatie over landinrichtingsprojecten (Dienst Landelijk Gebied), aangevuld met informatie over detailkarteringen van de bodem voor landinrichtingswerken (Alterra, Wageningen UR).

Via een *overlay*-procedure, waarbij de kleinste deelgebieden zijn toegewezen aan grotere, zijn op basis van Figuur 3.1, 3.2 en 3.3 41 deelgebieden onderscheiden, zie Figuur 3.4. Om zeer kleine strata te voorkomen, is bij een aantal kleine bodem- en Gt-klassen geen onderscheid gemaakt naar het voorkomen van stagnerende lagen en de uitvoering van landinrichtingswerken na de totstandkoming van de bodemkaart. Op basis van een verdere opsplitsing van een aantal grote strata in Noord-, Midden- of Zuid-Nederland bedraagt het totaal aantal strata 59, zie Tabel 3.1.

3.2 Selectie van locaties voor gerichte opnames

De basis voor de selectie van locaties voor de gerichte opnames is een GIS-bestand met daarin de grenzen van 59 strata op basis van grondwatertrap, aanwezigheid van stagnerende lagen en de uitvoering van landinrichtingswerken na de totstandkoming van de bodemkaart en Figuren 3.1, 3.2, 3.3 en 3.4.

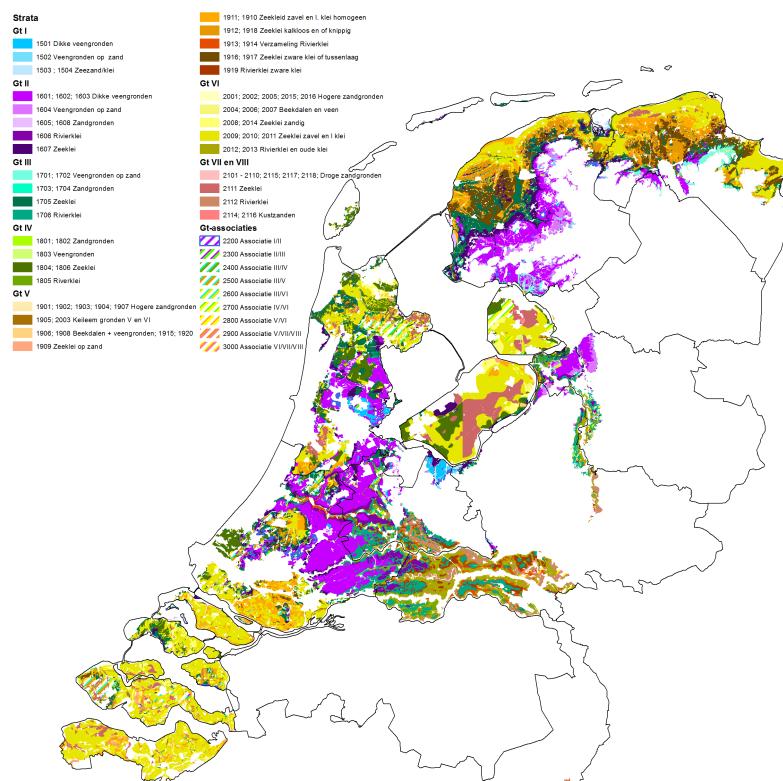
De oppervlakten van de strata variëren sterk. Ook komen er strata voor die uit kleine 'eilandjes' bestaan. Als binnen de 59 strata locaties worden geloot volgens een enkelvoudig aselecte steekproef, dan is er een risico dat de locaties geclusterd komen te liggen. Dit is ongewenst, omdat clustering leidt tot onnauwkeurige schattingen van frequentieverdelingen van GxG's in de 59 strata. Om nauwkeurige schattingen mogelijk

te maken streven we naar een gelijkmatige ruimtelijke verdeling van de locaties over de strata. Daarom verdelen we de 59 strata eerst in een aantal compacte geografische strata (geostrata), met behulp van het R-programma spcosa (Walvoort et al., 2010). Vervolgens selecteren we in elk van deze geostrata twee locaties *at random*. Omdat het totaal aantal meetlocaties 1200 bedraagt, zijn er totaal 600 geostrata gevormd. Elk van de 59 strata bevat ten minste vijf geostrata, zodat ieder stratum ten minste 10 meetlocaties bevat. De resterende $600 - (5 \times 59) = 305$ geostrata zijn proportioneel naar oppervlakte verdeeld over strata die groter zijn dan 10.000 hectare. Op deze manier bereiken we dat in de strata groter dan 10.000 hectare meer locaties worden geloot dan in kleinere strata, waardoor de waarnemingsdichtheid over de strata gelijkmatiger wordt.

De meetlocaties die in eerste instantie in de geostrata zijn geselecteerd, kunnen om verschillende redenen niet geschikt zijn voor het verrichten van een waarneming. Bij veldbezoek kan blijken dat een locatie niet tot het doelgebied behoort, omdat de locatie bijvoorbeeld op verhard terrein ligt. Ook kan het voorkomen dat toestemming om het land te betreden wordt geweigerd. Om toch het vereiste aantal waarnemingen te

Tabel 3.1
Kenmerken van de strata

Stratum	Gt	Stagnatie	Ingreep	Areal	Relatief areal (%)
1	VI	nee	onbekend	53322	4,75
2	VII&VIII	mogelijk	onbekend	28361	2,53
3	I	mogelijk	ja	8520	0,76
4	I	mogelijk	nee	3035	0,27
5	I	mogelijk	ja	1193	0,11
6	I	mogelijk	nee	2072	0,18
7	II	mogelijk	ja	7868	0,70
8	II	mogelijk	nee	16761	1,49
9	III	ja	ja	15338	1,37
10	III	ja	nee	25466	2,27
11	III	nee	ja	2107	0,19
12	III	nee	nee	4457	0,40
13	III	nee	ja	7403	0,66
14	III	nee	nee	5252	0,47
15	IV	mogelijk	onbekend	6740	0,60
16	V	mogelijk	ja	11569	1,03
17	V	mogelijk	nee	13974	1,25
18	VI	ja	onbekend	5857	0,52
19	VI	ja	onbekend	12197	1,09
20	VI	nee	onbekend	35670	3,18
21	VII&VIII	mogelijk	onbekend	18027	1,61
22	III/V	mogelijk	onbekend	12264	1,09
23	IV/VI	mogelijk	onbekend	13335	1,19
24	I/II/III	mogelijk	onbekend	16240	1,45
25	VI/VII/VIII	mogelijk	onbekend	8537	0,76
26	III/IV/VI	mogelijk	onbekend	11361	1,01
27	II	mogelijk	ja	7173	0,64
28	II	mogelijk	nee	14527	1,29
29	II	mogelijk	ja	13920	1,24
30	II	mogelijk	nee	12343	1,10
31	III	ja	ja	12428	1,11
32	III	ja	nee	9596	0,86
33	III	nee	ja	10560	0,94
34	III	nee	nee	10056	0,90
35	IV	mogelijk	onbekend	20017	1,78
36	V	ja	ja	25519	2,27
37	V	ja	nee	17999	1,60
38	V	nee	ja	21582	1,92
39	V	nee	nee	49366	4,40
40	VI	nee	onbekend	59893	5,34
41	VII&VIII	mogelijk	onbekend	10935	0,97
42	II	mogelijk	ja	16458	1,47
43	II	mogelijk	nee	34948	3,12
44	VI	nee	onbekend	36379	3,24
45	II	mogelijk	ja	9950	0,89
46	II	mogelijk	nee	10838	0,97
47	II	mogelijk	ja	56114	5,00
48	II	mogelijk	nee	44989	4,01
49	III	ja	ja	6312	0,56
50	III	ja	nee	10672	0,95
51	III	nee	ja	5498	0,49
52	III	nee	nee	15847	1,41
53	IV	mogelijk	onbekend	38807	3,46
54	V	ja	ja	3633	0,32
55	V	ja	nee	2723	0,24
56	V	nee	ja	13335	1,19
57	V	nee	nee	31522	2,81
58	VI	nee	onbekend	131163	11,69
59	VII&VIII	mogelijk	onbekend	9781	0,87



Figuur 3.1
Indeling in 43 deelgebieden op basis van bodemtypen en Gt-klassen van de bodemkaart schaal 1 : 50.000

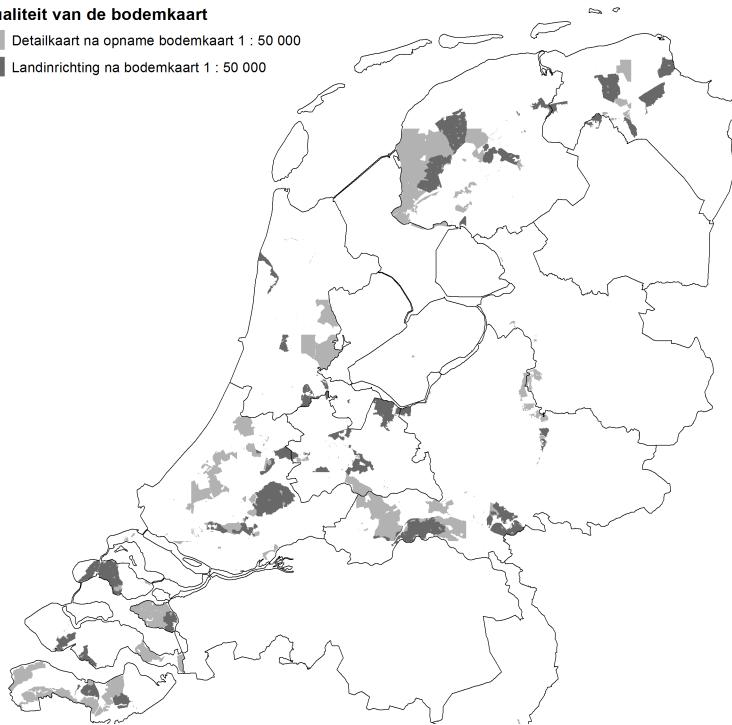


Figuur 3.2
Ligging van gronden met stagnante lagen, volgens informatie van de bodemkaart schaal 1 : 50.000

Actualiteit van de bodemkaart

Detailkaart na opname bodemkaart 1 : 50 000

Landinrichting na bodemkaart 1 : 50 000



Figuur 3.3

Ligging van gebieden waar de grondwaterstandsdiepten waarschijnlijk zijn gewijzigd als gevolg van ingrepen in de waterhuishouding na de veldopname voor de bodemkaart schaal 1 : 50.000. De ligging van deze gebieden is afgeleid van informatie over landinrichtingsprojecten (Dienst Landelijk Gebied), detailkarteringen van de bodem t.b.v. landinrichtingswerken (Alterra, onderdeel van Wageningen UR) en de bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50.000 (Alterra, onderdeel van Wageningen UR)

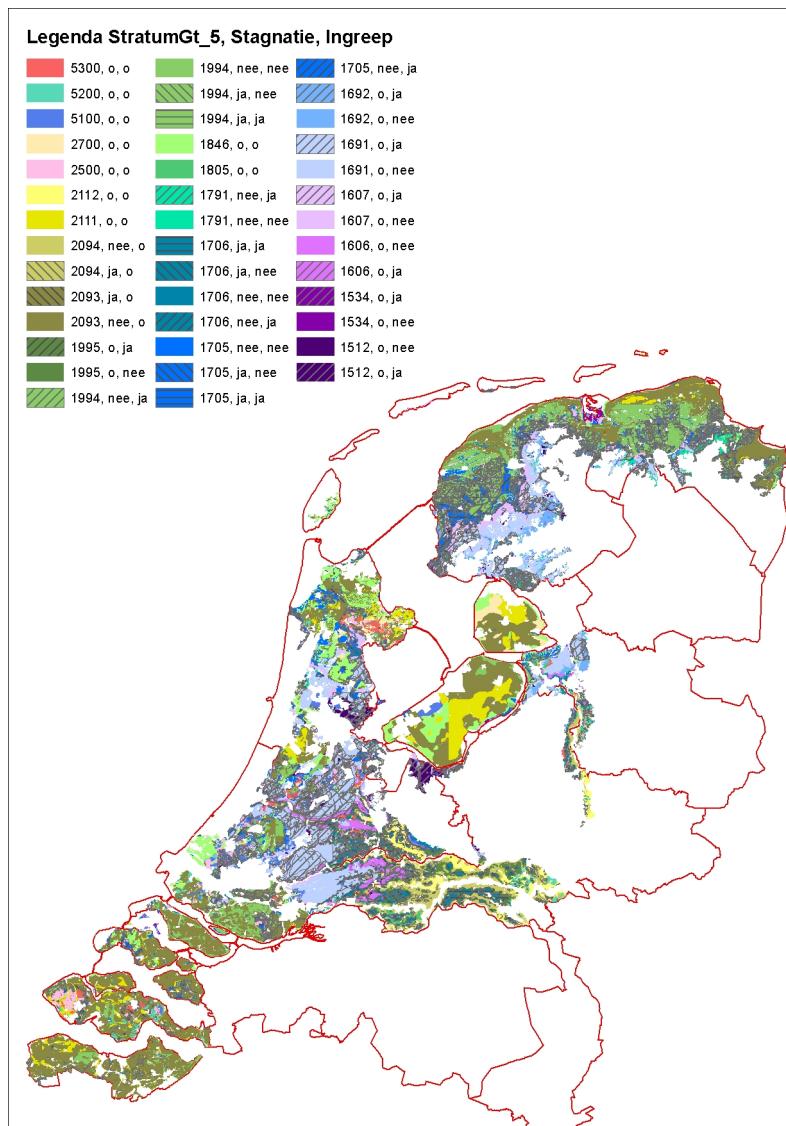
kunnen verrichten worden er acht reservelocaties geloot, waarnaar kan worden uitgeweken als locaties die in eerste instantie werden geselecteerd vervallen.

3.3 De gerichte opnames

Voor de actualisatie van de grondwatertrappen is de grondwaterstand gemeten in buizen waarvan een voldoende lange meetreeks aanwezig is om een schatting te kunnen doen van de actuele GxG in deze stambuizen. Daarnaast zijn in het veld een groot aantal boorgaten gemaakt waarin op twee verschillende tijdstippen een grondwaterstandmeting is gedaan. Aan de hand van deze metingen is een schatting gemaakt van de actuele GxG. De combinatie van een grondwaterstandmeting in een stambuis en in een boorgat met als doel de GxG te schatten wordt 'gerichte opname' genoemd. Het schatten van de GxG voor de locaties van de gerichte opnames gebeurt middels een stambuisregressie. De momenten waarop de grondwaterstandmetingen worden uitgevoerd zijn gekozen aan de hand van de gemiddelde seisoensfluctuaties en zodanig dat volgens de planning in 2014 alle metingen waren verricht.

Voorafgaand aan de veldmetingen zijn in ieder geostratum de locaties van de boorgaten voor gerichte opnames geloot volgens een enkelvoudig aselecte steekproef. Iedere locatie in een geostratum heeft daardoor evenveel kans om te worden geselecteerd. Locaties kunnen afvallen omdat toestemming wordt geweigerd of omdat de locatie buiten de doelpopulatie blijkt te vallen. Om het voorgeschreven aantal waarnemingen per deelgebied te kunnen verrichten zijn reservelocaties geselecteerd. Per deelgebied is zo een lijst met coördinaten van locaties en reservelocaties opgesteld waarop de grondwaterstandmetingen in open boorgaten kunnen worden gedaan. Het uitvoeren van de gerichte opname gebeurt door een veldbodemkundige volgens een vast protocol:

1. Per deelgebied is een lijst met coördinaten van locaties opgesteld. Bij het veldbezoek wordt de volgorde van locaties in de lijst aangehouden.



Figuur 3.4

Indeling in 41 strata op basis van bodem- en Gt-klasse, aanwezigheid van stagnerende lagen en uitvoering van landinrichtingswerken sinds de bodemkartering. Legenda: de vier cijfers geven de bodem- en Gt-klasse aan, daarna of stagnerende lagen aanwezig zijn en ten slotte of na de bodemkartering landinrichtingswerken hebben plaatsgevonden. o = onbepaald

2. Een locatie kan om vier redenen afvallen:

- omdat de landeigenaar of -gebruiker toestemming weigert;
- omdat het maken van een boorgat een risico oplevert voor het vee (botbreuken);
- omdat het maken van een boorgat een risico oplevert voor de veldbodemkundige (stieren);
- of omdat de locatie buiten de doelpopulatie valt (water, e.d.).

3. Als om één van de bovenstaande redenen een locatie afvalt, dan wordt deze vervangen door de eerstvolgende reservelocatie in het betreffende geostratum. Alleen wanneer gewassen de toegankelijkheid van de locatie belemmeren kan het punt enkele meters verplaatst worden naar bijvoorbeeld een sputspoor.

De geselecteerde locaties voor de gerichte opnames zijn in het veld opgezocht met behulp van een *hand held Global Navigation Satelite System (GNSS)*, waarmee de locaties met een nauwkeurigheid van ca. 3 à 4 meter kunnen worden bepaald. Voor het benaderen van de locaties is eerst toestemming aan de landgebruikers gevraagd. Indien geen toestemming werd verkregen, of wanneer de locatie bij nader inzien niet tot de doelpopulatie behoorde, is uitgeweken naar een reservepunt binnen hetzelfde geostratum. Per

geostratum zijn telkens tien locaties geloot, waarvan de eerste twee de voorkeur hebben en de andere acht als reservepunt worden gebruikt. In enkele gevallen voldeed geen van de tien gelote locaties aan de doelpopulatie en is in het veld binnen het geostratum een nieuwe locatie gezocht. Dit is sporadisch voorgekomen in de sterk verstedelijkte gebieden rond Rotterdam en Den Haag. Op iedere locatie is met een Edelmanboor een gat geboord met een diameter van ca. 7 cm tot een diepte, afhankelijk van de lokale grondwaterstand, van ten minste 150 cm -mv. en maximaal 250 cm -mv. Het bodemprofiel is beschreven volgens het Systeem van de Bodemclassificatie in Nederland van de Bakker en Schelling (1989) en gelijktijdig is aan de hand van de profielkenmerken een schatting gedaan van de GHG en de GLG. Deze beschrijvingen zijn toegevoegd aan het BIS, maar zijn voor de vervaardiging van de nieuwe Gt-kaart niet gebruikt. De grondwaterstand wordt in de open boorgaten gemeten nadat het boorgat ten minste drie dagen heeft opengelopen, zodat de grondwaterstand voldoende gelegenheid heeft gehad zich in te stellen. Op plaatsen waar een stagnerende laag in het profiel is waargenomen is een boorgat gemaakt tot op de slecht doorlatende laag en een tot enkele centimeters onder het diepste niveau waarop de grondwaterspiegel zich bevindt. Voor het schatten van de nieuwe GxG op deze punten is de hoogste grondwaterstand van de uitgeboorde boorgaten gebruikt (Figuur 3.5). De grondwaterstanden zijn gemeten met een klokje aan een meetlint waarbij het maaiveld als referentie heeft gediend. In bouwland of ruw terrein is over het boorgat een latje geplaatst om een nauwkeurige aflezing te krijgen. De datum, grondwaterstanden en opmerkingen over schijnspiegels en oppervlakkig toestromend water worden in het veld genoteerd. Na de meting is het boorgat weer dichtgemaakt en bij de tweede meting is de locatie opnieuw met behulp van GNSS in het veld opgezocht.

De metingen van grondwaterstanden in de boorgaten zijn zoveel mogelijk op dezelfde dag uitgevoerd als de metingen in de stambuizen. Een belangrijke voorwaarde bij het uitvoeren van een gerichte opname is dat er een goede correlatie is tussen de grondwaterstanden in de boorgaten en de grondwaterstanden in de stambuizen. Hiertoe moet de gebruikte stambuizenset een goede vertegenwoordiging zijn van hydrologische situaties zoals die in het veld worden aangetroffen. De stambuizen zijn van tevoren in het veld beoordeeld (Knotters et al., 2011). Weersomstandigheden, zoals lokale (zware) buien, of neerslag in het algemeen, kunnen deze correlatie tijdelijk verstören en de metingen minder geschikt maken voor het voorspellen van de GxG met behulp van stambuisregressie. Tijdens de uitvoering van de gerichte opnames wordt rekening gehouden met de weersomstandigheden: als extreme neerslag wordt voorspeld wordt de gerichte opname uitgesteld.

Ten behoeve van de uitvoering van het veldwerk is Nederland verdeeld in vier regio's: Noord-Nederland, rivieren en flanken, Noord-Holland en Flevoland en Zuidwest-Nederland (Figuur 3.6). Op iedere locatie zijn twee gerichte opnames uitgevoerd waarbij een meting van de grondwaterstand is gedaan op een moment met lage grondwaterstanden (het GLG-moment) en op een moment met hoge grondwaterstanden (het GHG-moment). Het GLG-moment wordt in Nederland op de meeste plaatsen bereikt aan het einde van de zomer en het GHG-moment aan het einde van de winter, zodat in de wintermaanden de GHG-opnamen zijn gepland en in de zomermaanden de GLG-opnamen. In 2011 is begonnen in Noord-Nederland en in 2014 zijn de laatste metingen in Zuidwest-Nederland uitgevoerd. In Tabel 3.2 staat per regio weergegeven op welk moment de grondwaterstandmetingen zijn uitgevoerd. De regio's zijn zo ingedeeld dat geostrata niet worden opgesplitst en een verdeling van ongeveer 300 locaties per regio is bereikt (Tabel 3.3). Op een aantal plekken is het niet gelukt zowel een GHG-meting als een GLG-meting uit te voeren, doordat de tweede keer een locatie niet bereikbaar was omdat er bijvoorbeeld geen toestemming door de gebruiker werd verleend.

Tabel 3.2
Periodes waarin gerichte opnames werden gedaan in de verschillende deelgebieden

Deelgebied	Opname moment	Periode
Noord-Nederland	GHG	24 oktober - 14 november 2011
	GLG	28 augustus - 11 september 2012
rivieren en flanken	GHG	5 maart - 2 april 2012
	GLG	17 september 2012 - 9 oktober 2012
Noord-Holland en Flevoland	GHG	12 maart - 2 april 2013
	GLG	8 juli - 23 juli 2013
Zuidwest-Nederland	GHG	3 februari - 24 februari 2014
	GLG	16 september - 8 oktober 2013



Figuur 3.5

Een gerichte-opnamelocatie waar drie open boorgaten tot verschillende diepten zijn uitgeboord om de grondwaterstand te meten in aanwezigheid van storende lagen

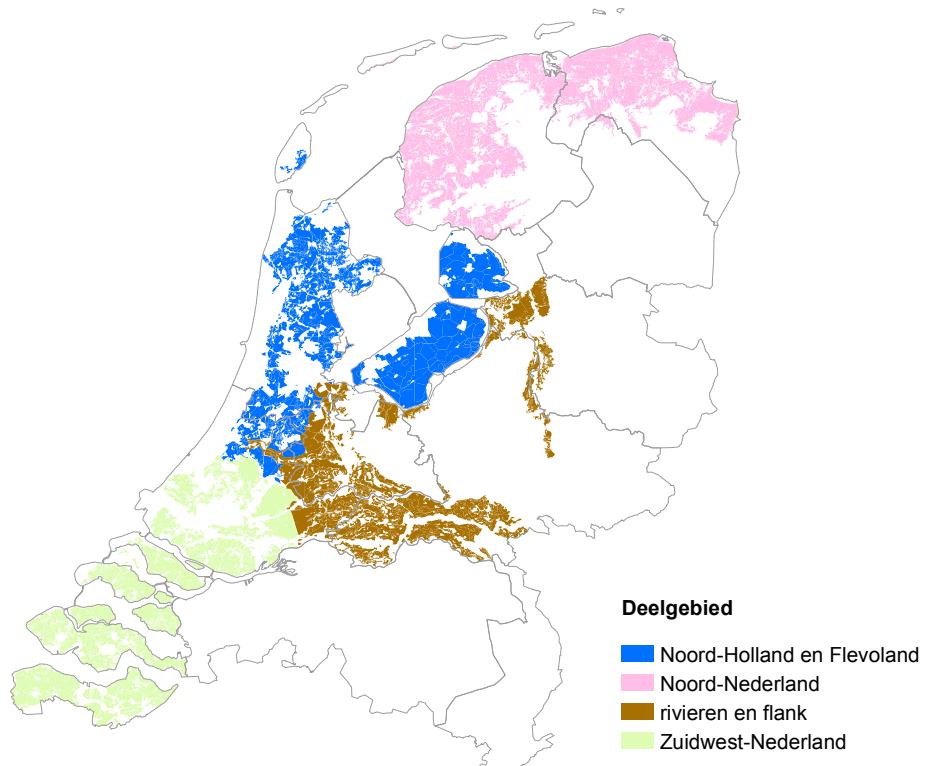
3.4 De stambuizen

In iedere regio is een aantal grondwaterstandbuizen geselecteerd die gebruikt zijn als stambuis voor die regio. Een stambuis is een grondwaterstandbuis die voldoet aan de criteria van een goede ligging, juiste filterstelling en waarvan de meetreeks voldoende lang is om de GxG te berekenen. In totaal zijn, verdeeld over de regio's, van 114 stambuizen de GHG en GLG berekend (Figuur 3.8). In een aantal gebieden binnen de regio's was een beperkt aantal stambuizen beschikbaar. Om deze reden zijn waterschappen en provincies benaderd met de vraag of er grondwaterstandbuizen in hun beheer zijn die niet in de digitale grondwater databank DINO zijn opgenomen. Deze actie leverde in de provincie Zeeland een aantal extra buizen op, waardoor ook op Schouwen en Zuid-Beveland grondwaterstandbuizen beschikbaar kwamen. In de regio 'rivieren en flanken' is gebruik gemaakt van enkele buizen die medewerkers van Alterra in hun tuin bijhouden (Hoogland en Nijbroek) en in de regio Noord-Holland en Flevoland zijn buizen gebruikt die vanaf 1997 worden gemeten op proefboerderij De Waaijboerhoeve nabij Lelystad. Ondanks deze aanvullingen

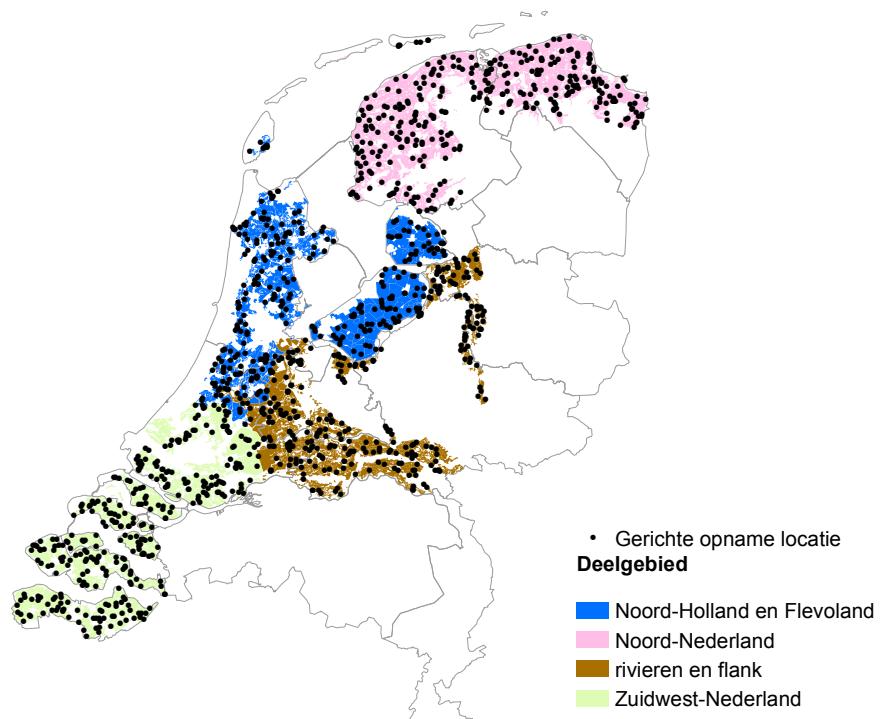
Tabel 3.3

Aantal gemeten grondwaterstanden in een regio per gerichte-opnamemoment

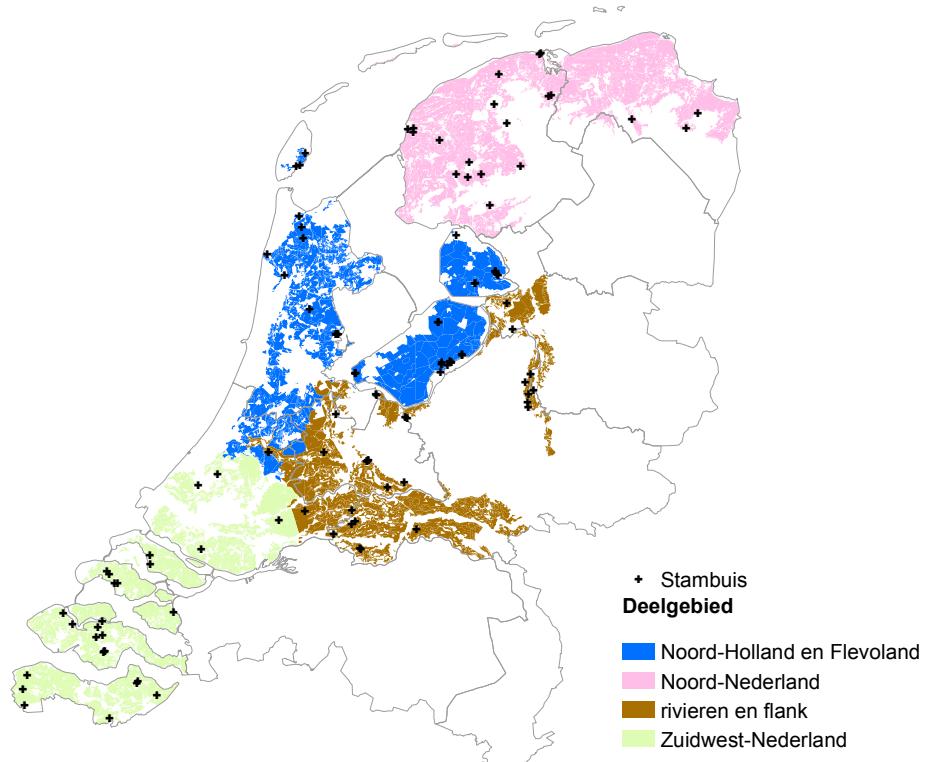
Regio	Opnamemoment		Totaal aantal metingen	Aantal unieke locaties
	GHG	GLG		
Noord-Nederland	314	314	628	314
Noord-Holland en Flevoland	279	279	558	280
rivieren en flanken	323	321	644	326
Zuidwest-Nederland	314	315	629	317
totaal	1230	1231	2459	1237



Figuur 3.6
De deelgebieden van het projectgebied



Figuur 3.7
Locatie van de gerichte opnames



Figuur 3.8
Locaties van de stambuizen

resteren nog gebieden waarin (vrijwel) geen stambuizen liggen. Vaak zijn stambuizen geplaatst ten behoeve van monitoring na een bepaalde ingreep op de waterhuishouding. Vaak zijn dit vernattingsprojecten ten behoeve van de aanleg van nieuwe natuur of ter voorkoming van maaivelddaling. Dit betreft o.a. de stambuizen rondom Schokland in de Noordoostpolder, de buizen op Schouwen en ook een serie buizen op Zuid-Beveland. Verder is tijdens de veldinspectie van de grondwaterstandbuizen naar voren gekomen dat er weinig buizen in landbouwpercelen liggen, maar veelal in bermen en bosjes of natuurgebieden. Een uitzondering hierop is het weidegebied van Friesland. Veel andere buizen liggen echter in natuurgebieden of buiten de doelpopulatie (bermen, tuinen e.d.). Uiteindelijk zijn er voldoende buizen geselecteerd om per regio een stambuisregressie te kunnen uitvoeren, waarbij het aantal stambuizen per regio varieert tussen 20 in Noord-Nederland en 36 in Noord-Holland en Flevoland (inclusief Texel). In Tabel 3.4 is te zien dat er een redelijke verdeling is over droge en natte buizen, maar dat in de regio's Noord-Nederland en Zuidwest-Nederland relatief veel buizen zijn met een ondiepe GHG en dat in Noord-Nederland slechts één buis aanwezig is met een GHG dieper dan 80 cm -mv. Opvallend is het aantal stambuizen met een geringe fluctuatie (<40 cm) in de regio Noord-Holland en Flevoland, wat mogelijk te maken heeft met sterk beheerde polderpeilen.

Tabel 3.4
Aantal stambuizen per GxG-klasse in de verschillende regio's

Regio	Aantal	GHG<40	GLG<80	GHG>80	GLG>180	fluctuatie (=GLG-GHG)	
		< 40 cm	< 120 cm				
Noord-Nederland	20	16	10	1	1	1	2
Noord-Holland en Flevoland	36	15	11	11	1	17	0
Rivieren en flanken	28	8	5	9	3	6	0
Zuidwest-Nederland	30	18	6	5	5	5	3



Figuur 3.9
Buis B48E1645 in bouwland met een goede ligging



Figuur 3.10
Buis B54F0055 met een slechte ligging in de berm naast een waterloop

3.5 Gecensureerde waarnemingen

Grondwaterstandsgegevens kunnen zogeheten gecensureerde waarnemingen bevatten. We weten dan alleen dat de grondwaterstand zich dieper dan een bepaald niveau bevindt, bijvoorbeeld dieper dan de onderkant van het waarnemingsfilter of het boorgat. Weglaten van deze gecensureerde waarnemingen of ze vervangen door de censordiepte, dus onderkant buis of diepte boorgat, leidt tot systematische fouten. Daarom gebruiken we statistische methoden die rekening houden met gecensureerde waarnemingen. Er komen 'dieper-dan'- of rechts-gecensureerde waarnemingen voor bij zowel de metingen in peilbuizen als bij de boorgatmetingen. Met gecensureerde waarnemingen moet rekening worden gehouden bij

1. stambuisregressie;
2. voorspelling van GxGs op gerichte-opnamelocaties;
3. berekening van *summary statistics* voor strata.

Tabel 3.5 geeft een overzicht van de aantallen gecensureerde waarnemingen in stambuizen en boorgaten.

3.6 Stambuisregressie met gecensureerde waarnemingen

Tot nu toe werden gecensureerde waarnemingen vervangen door *missing values*. Dit kan leiden tot systematische fouten (*bias*) in voorspellingen van GxG's met een stambuisregressiemodel. Met gecensureerde waarnemingen kan rekening worden gehouden door *maximum-likelihood*-regressie of niet-parametrische regressie toe te passen. Helsel (2004) adviseert niet-parametrische regressie bij minder dan 50 waarnemingen. Dit is bij stambuisregressie het geval. De procedure om bij stambuisregressie rekening te houden met gecensureerde waarnemingen is als volgt:

1. De lineaire relatie tussen de grondwaterstand tijdens een gerichte opname en de GxG wordt gemodelleerd met niet-parametrische regressie, met behulp van de functie **cenken** uit het R-package **NADA**. Bij niet-parametrische regressie worden de hellingen tussen alle mogelijke puntenparen berekend. Van hellingen tussen gecensureerde en niet-gecensureerde waarnemingen weten we alleen dat deze groter of kleiner dan een bepaalde waarde zijn. Vervolgens wordt de helling van het lineaire regressiemodel geschat met de mediaan van alle hellingen tussen puntenparen. Deze methode wordt ook wel de Theil-Sen-methode genoemd. Omdat **cenken** alleen met links-gecensureerde waarnemingen om kan gaan zijn alle grondwaterstandsdiepten omgerekend naar grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld, door ze met -1 te vermenigvuldigen.
2. De nauwkeurigheid van de regressieparameters kwantificeren we door een niet-parametrische *bootstrap* uit te voeren met de functie **boot** uit het gelijknamige R-package (Efron en Tibshirani, 1993). Hierbij worden regressiemodellen gefit op N_R trekkingen met teruglegging uit de dataset. Elke trekking heeft de omvang n van de oorspronkelijke dataset. Op deze manier worden N_R realisaties van het lineaire regressiemodel verkregen.

In bijlage A analyseren we wat het effect is van het verdisconteren van gecensureerde waarnemingen op de coëfficiënten van het regressiemodel.

3.7 GxG-voorspellingen voor gerichte-opnamelocaties

Op de locaties van de gerichte opname zijn grondwaterstanden gemeten in boorgaten. De boorgaten werden uitgeboord tot 10 à 20 cm onder de geschatte grondwaterstand. Na maximaal een week werd de grondwaterstand gemeten die zich in het boorgat had ingesteld. Een aantal keren (zie Tabel 3.5) bleek dat de grondwaterstand zich onder de bodem van het boorgat bevond. Dit zijn gecensureerde waarnemingen met de diepte van het boorgat als censorgrens.

Met behulp van de modellen uit de stambuisregressie kunnen we voor deze locaties slechts voorspellen dat de GxG zich dieper dan een bepaalde waarde bevindt. Dit zijn dus 'gecensureerde voorspellingen'. Met de N_R realisaties van het lineaire regressiemodel worden N_R voorspellingen van de GxG verricht voor elke locatie $i, i = 1 \dots k$ van de gerichte opname. Bij elke voorspelling wordt aangegeven of deze gecensureerd is of niet. Alle voorspellingen zijn grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld, dus gecensureerde voorspellingen zijn links-gecensureerd. Wij stellen het aantal *bootstrap*-realisaties van het stambuisregressiemodel, N_R , op 1000.

Tabel 3.5

Aantallen gecensureerde waarnemingen in stambuizen en boorgaten

Regio	Stambuizen		Boorgaten	
	GHG	GLG	GHG	GLG
Noord-Nederland	2	1	0	1
Noord-Holland en Flevoland	0	4	0	4
Rivierengebied en flanken	1	1	6	1
Zuidwest-Nederland	0	0	0	7

3.8 Cumulatieve frequentieverdelingen van GxG's binnen strata

Bij het schatten van de frequentieverdeling van GxG's binnen een stratum hebben we te maken met twee bronnen van onzekerheid:

1. Onzekerheid als gevolg van het feit dat we de GxG op gerichte-opnamelocaties niet exact kennen, maar voorspellen uit een gemeten grondwaterstand met behulp van een stambuisregressiemodel, zie paragraaf 3.6 en 3.7.
2. Onzekerheid als gevolg van het feit dat we niet op elke denkbare locatie binnen een stratum een gerichte opname uitgevoerd hebben, maar ons beperkt hebben tot een aantal steekproeflocaties, zie paragraaf 3.3.

In het vervolg refereren we aan onzekerheid ten gevolge van stambuisregressie met de letter R, en aan onzekerheid ten gevolge van de steekproef met de letter S. Onzekerheid verdisconteren we niet op analytische wijze, maar met behulp van zogeheten *bootstrap*-trekkingen (Efron en Tibshirani, 1993). Dit houdt in dat we een groot aantal mogelijke waarden van de voorspelde GxG genereren door aselect met teruglegging te trekken, uit de verdeling van de regressieparameters en uit de steekproeflocaties. De onzekerheid ten gevolge van stambuisregressie verdisconteren we door N_R *bootstrap*-realisaties van het stambuisregressiemodel te genereren, en de onzekerheid ten gevolge van de steekproef verdisconteren we door N_S *bootstrap*-realisaties van de steekproef te genereren. Voor elke gerichte-opnamelocatie levert de methode die in paragraaf 3.6 en 3.7 wordt beschreven N_R voorspellingen van de GxG op. Op zes locaties zijn de GHG-voorspellingen gecensureerd, en op dertien locaties zijn de GLG-voorspellingen gecensureerd, zie Tabel 3.5. Per stratum berekenen we vervolgens cumulatieve frequentieverdelingen van GxG's, waarbij we de spreiding in percentielwaarden als gevolg van onzekerheid bepalen uit de $N_R \times N_S$ *bootstrap*-realisaties van GxG's. De procedure is nu als volgt:

1. We loten een selectie i van n_h locaties, met teruglegging, uit de n_h locaties binnen stratum h . De insluitkansen wegen we naar de oppervlakten van de geografische substrata (geostrata) binnen stratum h . Locaties uit een groot geostratum hebben dus een grotere kans om geselecteerd te worden dan locaties uit een klein geostratum.
2. Uit de j -de realisatie van de N_R voorspelde GxG's voor de geselecteerde n_h locaties berekenen we de cumulatieve frequentieverdeling met de functie **cenfit** uit het R-package **NADA**. Deze functie is een implementatie van de Kaplan-Meier-methode (Helsel, 2004, p. 70-74) om *summary statistics* te berekenen onder aanwezigheid van gecensureerde waarnemingen.
3. Stap 1 en 2 herhalen we N_S maal, voor N_S onafhankelijke *bootstrap*-trekkingen van n_h locaties in stratum h ($i = 1 \dots N_S$). Wij stellen N_S op 1000.
4. Stap 1 tot en met 3 herhalen we N_R maal ($j = 1 \dots N_R$), voor de N_R realisaties van het stambuisregressiemodel. Dit levert een bundel van $N_S \times N_R$ cumulatieve frequentieverdelingen van GxG's op voor kaarteenheid h . De breedte van de bundel reflecteert de onzekerheid als gevolg van zowel de stambuisregressie als de steekproef.
5. Stap 1 tot en met 4 voeren we uit voor alle kaarteenheden $h, h = 1 \dots \ell$.

3.9 Verdeling van grondwatertrappen binnen kaarteenheden

De procedure uit paragraaf 3.8 levert informatie op over de verdeling van GHG's en GLG's binnen kaarteenheden, maar niet over de combinatie van GHG en GLG op individuele locaties. Deze combinatie wordt in Nederland weergegeven met grondwatertrappen (Gt's) (van Hees, 1970). Om de actuele verdeling van grondwatertrappen binnen kaarteenheden van de grondwatertrappenkaart 1 : 50.000 weer te geven volgen we de volgende procedure:

1. We loten een selectie i van n_h locaties, met teruglegging, uit de n_h locaties binnen kaarteenheid h . De insluitkansen wegen we naar de oppervlakten van de geografische substrata binnen stratum h . Locaties uit een groot geostratum hebben dus een grotere kans om geselecteerd te worden dan locaties uit een klein geostratum.
2. Uit de j -de realisatie van de N_R voorspelde GHG's en GLG's bepalen we voor elk van de geselecteerde n_h locaties de grondwatertrap.

3. Voor elke grondwatertrap berekenen we de fractie waarbinnen deze voorkomt binnen stratum h , rekening houdend met de oppervlakten van de geografische strata binnen stratum h (de Gruijter et al., 2006, p. 92).
4. Stap 1 tot en met 3 herhalen we N_S maal, voor N_S onafhankelijke *bootstrap*-trekkingen van n_h locaties in stratum h ($i = 1 \dots N_S$). Wij stellen N_S op 1000.
5. Stap 1 tot en met 4 herhalen we N_R maal ($j = 1 \dots N_R$), voor de N_R realisaties van het stambuisregressiemodel. Dit levert per grondwatertrap $N_S \times N_R$ mogelijke oppervlaktefracties binnen kaarteenheid h op. De spreiding van de oppervlaktefracties reflecteert de onzekerheid als gevolg van zowel de stambuisregressie als de steekproef.
6. Stap 1 tot en met 5 voeren we uit voor alle kaarteenheden $h, h = 1 \dots \ell$.

De aanwezigheid van gecensureerde waarden heeft gevolgen voor de classificatie van GHG's en GLG's tot grondwatertrappen. Wanneer voor een locatie slechts bekend is dat de GHG en/of de GLG zich dieper dan een bepaalde waarde bevindt, dan kan vaak alleen een associatie van Gt-klassen voor deze locatie worden aangegeven. Tabel 3.6 geeft de mogelijke klassen en associaties aan voor de Gt-indeling die bij de kartering van de bodem- en Gt-kaart, schaal 1 : 50.000, is gevuld. Het aantal associaties als gevolg van gecensureerde waarnemingen is in theorie erg groot, maar gezien het beperkte aantal gecensureerde waarnemingen zal in werkelijkheid maar een beperkt aantal van deze associaties voorkomen. Tabel 3.7 laat alle Gt-klassen en associaties zien die kunnen voorkomen bij de meest gedetailleerde Gt-indeling.

Binnen een stratum komt ten minste één grondwatertrap voor, maar meestal meerdere. Op basis van de uitkomsten van de procedure die hierboven is beschreven kan de kans op het vóórkomen van een bepaalde grondwatertrap op een willekeurig punt binnen de strata worden berekend, rekening houdend met de ruimtelijke variatie van grondwatertrappen, de onzekerheid als gevolg van de stambuisregressie en de onzekerheid als gevolg van de steekproef. Als maat voor de heterogeniteit binnen een stratum is de genormaliseerde entropie berekend. Deze is gelijk aan 0 als er een kans gelijk aan 1 is op één enkele grondwatertrap op een willekeurige locatie binnen een stratum. Als elke grondwatertrap evenveel kans heeft voor te komen op een willekeurige locatie binnen een stratum, dan is de genormaliseerde entropie gelijk aan 1. Hoe kleiner de genormaliseerde entropie, hoe homogener de inhoud van een stratum is. De genormaliseerde entropie voor de variatie in Gt-klassen binnen een kaarteenheid wordt als volgt berekend:

$$\eta = -\frac{\sum_{i=1}^n p_i \log_2(p_i)}{\log_2(n)} \quad (3.1)$$

waarin p_i de kans is op Gt-kLASSE $i, i = 1 \dots n$ op een willekeurig punt binnen het stratum, en n het totale aantal Gt-klassen dat in het stratum voorkomt.

Tabel 3.6

Onderscheiden grondwatertrappen en associaties van grondwatertrappen bij de indeling in grondwatertrappen die bij de kartering van de bodem- en Gt-kaart, schaal 1 : 50.000, is gehanteerd. Diepten in cm beneden maaiveld

Grondwatertrap	GHG	GLG
I	< 25	< 50
I*	> 25	< 50
II	< 25	50 – 80
II*	> 25	50 – 80
III	< 25	80 – 120
III*	25 – 40	80 – 120
IV	40 – 120	80 – 120
V	< 25	> 120
V*	25 – 40	> 120
VI	40 – 80	> 120
VII	80 – 140	> 120
VII*	> 140	> 140
I/I*	> 0	< 50
II/II*	> 0	50 – 80
III/IV	> 0	80 – 120
V/VI/VII/VII*	> 0	> 120
V*/VI/VII/VII*	> 25	> 120
VI/VII/VII*	> 40	> 120
VII/VII*	> 80	> 120
I/II/III/V	< 25	> 0
II/III/V	< 25	> 50
III/V	< 25	> 80
I*/II*/III*/V*	25 – 40	> 0
II*/III*/V*	25 – 40	> 50
III*/V*	25 – 40	> 80
IV/VI	40 – 80	> 80
IV/VII/VII*	80 – 140	> 80
I/II/III/IV/V/VI/VII/VII*	> 0	> 0
II/III/IV/V/VI/VII/VII*	> 0	> 50
III/IV/V/VI/VII/VII*	> 0	> 80
V/VI/VII/VII*	> 0	> 120
I*/II*/III*/IV*/V*/VI*/VII*/VII*	> 25	> 0
II*/III*/IV*/V*/VI*/VII*/VII*	> 25	> 50
III*/IV*/V*/VI*/VII*/VII*	> 25	> 80
V*/VI*/VII*/VII*	> 25	> 120
IV/VI/VII/VII*	> 40	> 80
VI/VII/VII*	> 40	> 120

Tabel 3.7

Onderscheiden grondwatertrappen en associaties van grondwatertrappen bij de huidige, gedetailleerde indeling in grondwatertrappen. Diepten in cm beneden maaiveld.

Grondwatertrap	GHG	GLG
I	-	< 50
IIa	< 25	50 – 80
IIb	> 25	50 – 80
IIIa	< 25	80 – 120
IIIb	25 – 40	80 – 120
IVu	40 – 80	80 – 120
IVc	80 – 120	80 – 120
Vao	< 25	120 – 180
Vad	< 25	> 180
Vbo	25 – 40	120 – 180
Vbd	25 – 40	> 180
Vlo	40 – 80	120 – 180
Vld	40 – 80	> 180
VIIo	80 – 140	120 – 180
VIIId	80 – 140	> 180
VIIIo	> 140	120 – 180
VIIId	> 140	> 180
Ia/b	> 0	< 50
IIa/b	> 0	50 – 80
III/IV	> 0	80 – 120
IVu/c	> 40	80 – 120
Vo/Vlo/VIIo/VIIIo	> 0	120 – 180
Vd/Vld/VIId/VIIId	> 0	> 180
Vbo/Vlo/VIIo/VIIIo	> 25	120 – 180
Vbd/Vld/VIId/VIIId	> 25	> 180
Vlo/VIIo/VIIIo	> 40	120 – 180
Vld/VIId/VIIId	> 40	> 180
VIIo/VIIIo	> 80	120 – 180
VIIId/VIIId	> 80	> 180
Ia/IIa/IIIa/Va	< 25	> 0
IIa/IIIa/Va	< 25	> 50
IIIa/Va	< 25	> 80
Ib/IIb/IIIb/Vb	25 – 40	> 0
IIb/IIIb/Vb	25 – 40	> 50
IIIb/Vb	25 – 40	> 80
IVu/VI	40 – 80	> 80
IVc/VII/VIII	80 – 140	> 80
VIIo/VIIId	80 – 140	> 120
VIIIo/VIIId	> 140	> 120
I/II/III/IV/V/VI/VII/VIII	> 0	> 0
II/III/IV/V/VI/VII/VIII	> 0	> 50
III/IV/V/VI/VII/VIII	> 0	> 80
V/VI/VII/VIII	> 0	> 120
Ib/IIb/IIIb/IV/Vb/VI/VII/VIII	> 25	> 0
IIb/IIIb/IV/Vb/VI/VII/VIII	> 25	> 50
IIIb/IV/Vb/VI/VII/VIII	> 25	> 80
Vb/VI/VII/VIII	> 25	> 120
IVu/VI/VII/VIII	> 40	> 80
VI/VII/VIII	> 40	> 120
IVc/VII/VIII	> 80	> 80
VII/VIII	> 80	> 120
VIIIo/d	> 140	> 120

4 Resultaten

4.1 Resultaten van gerichte opnames

De gerichte opnames zijn uitgevoerd in de periode van oktober 2011 tot februari 2014. De opnamen voor de GHG zijn in de regel uitgevoerd aan het begin van het groeiseizoen en de metingen voor de GLG aan het einde van het groeiseizoen. Voorafgaande aan de gerichte opname in Noord-Nederland voor de GLG (augustus/september 2012) waren de omstandigheden droog, maar tijdens de opname vielen er lokaal zware buien, waardoor de grondwaterstanden lokaal sterk beïnvloed zijn. Vooral in het noordwesten van Friesland en nabij de Eemshaven kwam tijdelijk wateroverlast voor, waardoor in die gebieden de gerichte opnames uitgesteld moesten worden. Tijdens de opnamen voor de GHG in november 2011 was het in Noord-Nederland juist erg droog voor de tijd van het jaar en ook de GHG opnamen in de regio rivieren en flanken (maart/april 2012) was het droog tot extreem droog volgens de droogtemonitor van het KNMI. In het zuidwesten van het studiegebied zijn de metingen voor de GLG in september 2013 onder soms natte weersomstandigheden uitgevoerd. In vooral akkerbouwgebieden komen in de winterperiode percelen voor die verslemt zijn, of te kampen hebben met een ploegzool, waardoor er plasvorming optreedt (Figuur 4.1). Deze plekken bemoeilijken het uitvoeren van een gerichte opname, omdat het oppervlakkige water gemakkelijk in het boorgat kan stromen en daarmee de waterstand in het boorgat verstoort. In dit geval is de meting uitgesteld of is er uitgeweken naar een alternatieve locatie.

Om inzicht te krijgen in welke mate de weersomstandigheden van invloed zijn op de gerichte opnames, zijn de grondwaterstanden in de stambuizen vergeleken met de berekende GxG's op die locaties. In Tabel 4.1 is het gemiddelde verschil tussen de berekende GHG en GLG van de stambuizen en de gemeten grondwaterstanden in deze stambuizen weergegeven. In alle regio's lagen de grondwaterstanden ten tijde van de GHG-opname dieper dan de GHG en ten tijde van de GLG-opname ondieper dan de GLG. De verschillen variëren sterk per regio en opname. In de regio Noord-Holland en Flevoland zijn de gerichte opnames relatief dichtbij de GxG-momenten genomen, namelijk 16 cm onder GHG en 2 cm boven het GLG-moment. In de regio Noord-Nederland daarentegen zijn de gerichte opnames respectievelijk 27 cm onder GHG en 36 cm boven GLG uitgevoerd. Doordat tijdens de gerichte opnames de grondwaterstanden aanzienlijk boven de GLG en onder de GHG lagen, zijn op gerichte-opnamelocaties met een geringe fluctuatie twee standen gemeten die weinig van elkaar verschilden en soms was de zomermeting zelfs ondieper dan de wintermeting. In Tabel 4.1 is achter het gemiddelde verschil voor de meetperiode, de standaarddeviatie tussen haakjes weergegeven. Hier is te zien dat de standaarddeviatie van de stambuizen tussen de 12 en 36 cm ligt en niet altijd kleiner is wanneer de gemiddelde standen dichter bij de GLG of GHG liggen. Binnen de stambuizenset van een bepaalde regio is blijkbaar een bepaalde mate van variatie aanwezig die niet direct samenhangt met het meettijdstip.

4.2 Resultaten van de stambuisregressie

Tabel 4.2 geeft de modellen die bij de stambuisregressie zijn gebruikt. Omdat er meerdere realisaties zijn gegenereerd, teneinde de nauwkeurigheid van de modellen in rekening te brengen, geeft Tabel 4.2 niet de geschatte regressiecoëfficiënten maar parameters van de verdelingen van deze coëfficiënten. De algemene

Tabel 4.1

Gemiddeld verschil in centimeter tussen de berekende GHG en GLG in stambuizen en de grondwaterstand gemeten in de stambuizen tijdens de gerichte opname. Tussen haakjes de standaardafwijking

Regio	Opname moment	
	GHG	GLG
Noord-Nederland	-27,1 (25,3)	36,3 (19,8)
Holland en Flevoland	-15,9 (14,2)	2,3 (18,7)
Rivieren en flanken	-30,2 (28,2)	18,4 (36,0)
Zuidwest-Nederland	-9,6 (11,5)	20,2 (20,4)



Figuur 4.1

Een verslemt akkerbouwperceel op Walcheren waarop zich een schijngrondwaterspiegel heeft ingesteld (februari 2014)

vorm van een stambuisregressiemodel voor een gerichte opname op tijdstip t is

$$GxG = b_0 + b_1 h_t + \epsilon \quad (4.1)$$

waarin GxG de GHG of GLG is en h de grondwaterstandsdiepte is op een bepaalde locatie, ten tijde van de gerichte opname.

4.3 Beschrijving van de actuele grondwatersituatie in holocene Nederland

4.3.1 Actuele inhoud van de strata

Figuur 4.2 geeft voor elk van de 59 strata de meest waarschijnlijke Gt-klasse weer op elke willekeurige locatie binnen het stratum. Grondwatertrap I komt vooral voor in het Eemland en in het veenweidegebied ten noorden van Amsterdam. Grondwatertrap II (IIa) komt vooral voor in het Zuidhollands-Utrechtse veenweidegebied en in Noord-Holland. Grondwatertrap II* (IIb) komt vooral voor op de overgang van rivierklei naar het veenweidegebied. Grondwatertrap III (IIIa) komt vooral voor tegen de grenzen van het pleistoceen in Friesland en Groningen, op Walcheren en aan weerszijden van het Zwarte Water in Overijssel, onder andere in de polder Mastenbroek en ten westen van Rouveen en Staphorst. Grondwatertrap IV treffen we vooral aan in de komkleigebieden in het rivierengebied, ten noorden van Kampen, de Noordoostpolder, Zuidelijk Flevoland en verspreid in de kop van Noord-Holland. Grondwatertrap VI komt vooral voor in zeekleipolders. Grondwatertrap VII komt vooral voor in Oostelijk Flevoland en delen van de Noordoostpolder, de kop van Noord-Holland, de Haarlemmermeer en omliggende droogmakerijen, en op stroomruggen in het rivierengebied.

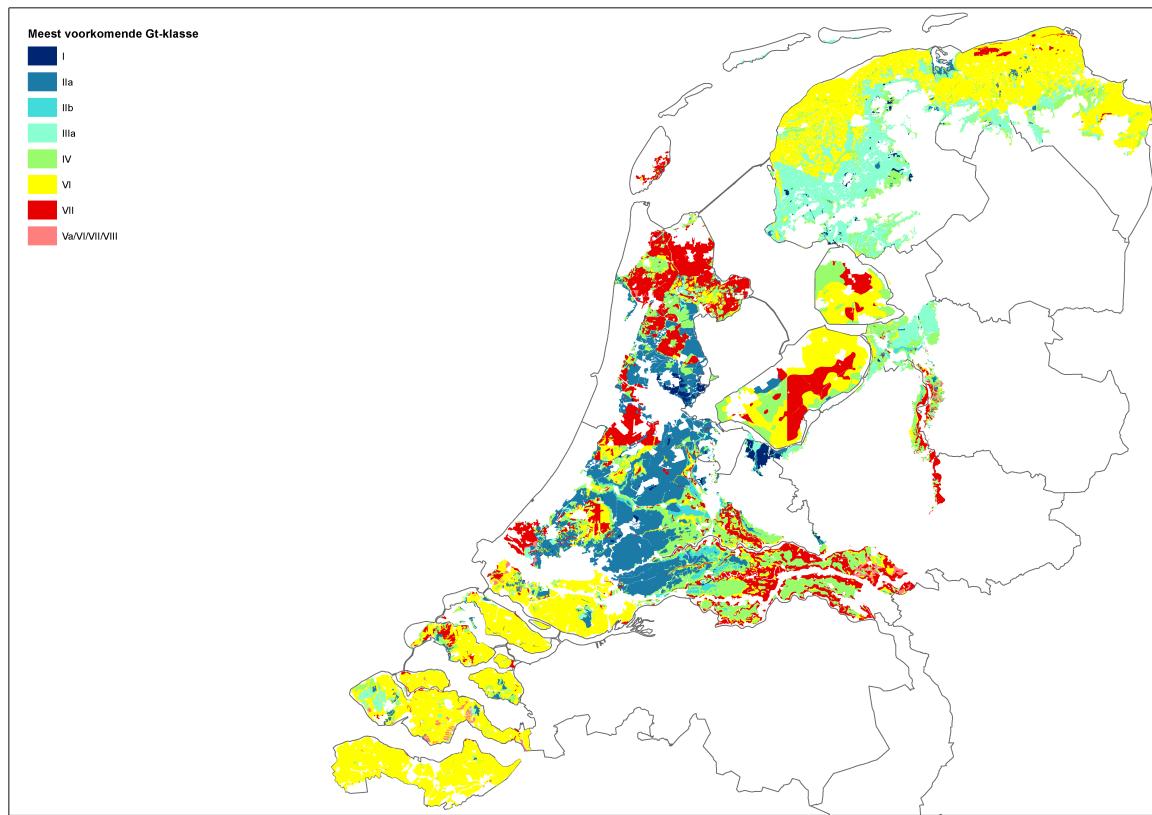
Tabel F.1 in bijlage F geeft voor elk van de 59 strata de kans waarmee een bepaalde grondwatertrap op een willekeurige locatie binnen dat stratum voorkomt. De kolommen 'modus' en 'Gt' geven de grondwatertrappen die met de hoogste waarschijnlijkheid op een willekeurige locatie in een stratum voorkomen. De modus is de kans waarmee deze meest waarschijnlijke grondwatertrap voorkomt. De diverse associaties als gevolg van ontbrekende of gecensureerde waarnemingen (zie Tabel 3.6) hebben over het algemeen een kleine kans van voorkomen en zijn daarom samengevat in de kolom 'Associaties'. Stratum 25 heeft een relatieve oppervlakte (8.537 ha) en relatieve veel ontbrekende of gecensureerde waarnemingen, waardoor de associatie 'V/VI/VII/VII*' hier het meeste voorkomt. Op de oorspronkelijke Gt-kaart, schaal 1 : 50.000 was dit stratum ook een associatie, namelijk 'VI/VII/VII*', zie Tabel 3.1). Stratum 25 komt verspreid op Zuid-Beveland voor, zie Figuur 4.2.

Uit een vergelijking van de meest waarschijnlijke Gt's in Tabel F.1 met de Gt's in Tabel 3.1 blijkt dat bij 25 strata (52,4% van de oppervlakte van de kaart) geen verandering van Gt-kleur is opgetreden. Bij 20 strata is een verschuiving opgetreden van een Gt-kleur met minder fluctuatie: van Gt III naar Gt IV (tien strata), van Gt V naar Gt IV (vier strata) en van Gt V naar Gt VI (zes strata). In 26,1% van de totale oppervlakte is een verschuiving opgetreden naar een Gt-kleur met meer fluctuatie. Bij de overige 14 strata (21,5% van de oppervlakte) is een verschuiving opgetreden naar een Gt-kleur met overeenkomstige

Tabel 4.2

Regressiemodellen voor stambuisregressie. Voor elke datum van de gerichte opnames is een model geselecteerd waarvan 100 realisaties zijn gegenereerd. De tabel geeft het 2,5^{de}, 50^{ste} en 97,5^{de} percentiel van de verdeling van de geschatte modelparameters. nn = Noord-Nederland, rf = rivieren en flanken, nhfl = Noord-Holland en Flevoland, zw = Zuidwest-Nederland.

Regio	Opnamemoment	datum	b_0			b_1		
			P2,5	P50	P97,5	P2,5	P50	P97,5
nn	GHG	2011-10-24	-13,49	-0,06	16,50	0,2777	0,6105	0,8704
nn	GHG	2011-10-26	-15,48	0,15	19,06	0,1413	0,6098	0,9201
nn	GHG	2011-11-01	-16,17	-0,60	24,59	0,0697	0,4683	0,7842
nn	GHG	2011-11-07	-7,77	4,39	21,33	0,3521	0,5350	0,7936
nn	GHG	2011-11-08	-11,37	4,52	21,18	0,2770	0,5231	0,7700
nn	GHG	2011-11-14	-11,50	1,93	21,83	0,2667	0,4443	0,7414
nn	GHG	2012-11-14	-6,68	12,43	51,57	0,1833	0,5918	1,1168
nn	GLG	2012-08-28	-80,05	-50,05	-32,34	0,5529	0,7743	1,0714
nn	GLG	2012-08-29	-78,05	-49,79	-30,91	0,5503	0,7769	1,0838
nn	GLG	2012-08-30	-74,65	-52,31	-33,94	0,5532	0,7729	1,0502
nn	GLG	2012-09-10	-67,30	-44,99	-31,15	0,6222	0,7811	1,0762
nn	GLG	2012-09-11	-65,22	-45,66	-26,91	0,6363	0,7811	1,1259
rf	GHG	2012-03-05	-11,81	4,04	15,03	0,5809	0,7698	0,9402
rf	GHG	2012-03-12	-13,85	-2,19	12,47	0,5492	0,6613	0,9014
rf	GHG	2012-03-18	-4,89	10,19	19,42	0,5941	0,7381	0,8667
rf	GHG	2012-03-19	-2,70	11,83	23,35	0,6149	0,7531	0,8758
rf	GHG	2012-03-26	-0,45	15,42	29,48	0,5992	0,7667	0,9178
rf	GHG	2012-03-27	-3,44	14,02	27,12	0,5594	0,7490	0,8788
rf	GHG	2012-04-02	-5,72	14,39	30,28	0,5609	0,7378	0,9041
rf	GLG	2012-09-17	-44,99	-21,33	-8,31	0,6476	0,8074	0,9712
rf	GLG	2012-10-01	-42,73	-27,47	-13,03	0,7102	0,8313	1,0005
rf	GLG	2012-10-02	-53,31	-28,87	-13,35	0,6673	0,8272	0,9817
rf	GLG	2012-10-09	-66,25	-46,18	-31,97	0,6485	0,8419	0,9820
nhfl	GHG	2013-03-11	-3,61	2,84	11,94	0,7797	0,9171	1,0205
nhfl	GHG	2013-03-12	-3,61	3,16	9,66	0,7861	0,9108	1,0179
nhfl	GHG	2013-03-18	-5,87	1,24	9,10	0,7804	0,8706	0,9665
nhfl	GHG	2013-03-25	5,89	12,14	23,16	0,8657	0,9694	1,0762
nhfl	GHG	2013-04-02	13,71	21,02	25,55	0,8810	1,0112	1,0595
nhfl	GHG	2013-04-03	12,94	20,08	25,24	0,8892	1,0026	1,0714
nhfl	GLG	2013-07-08	-14,57	-1,47	8,08	0,8708	1,0183	1,2042
nhfl	GLG	2013-07-09	-15,57	0,18	12,34	0,8453	1,0484	1,2169
nhfl	GLG	2013-07-15	-17,69	0,10	13,99	0,8463	1,0056	1,1401
nhfl	GLG	2013-07-16	-9,03	-0,20	6,88	0,8807	1,0143	1,1597
nhfl	GLG	2013-07-22	-6,40	5,73	13,27	0,8537	1,0009	1,1037
nhfl	GLG	2013-07-23	-13,14	3,70	14,20	0,8414	0,9806	1,0827
zw	GHG	2014-02-10	-13,13	-0,77	3,52	0,7276	0,9088	0,9951
zw	GHG	2014-02-11	-10,93	-1,73	4,20	0,7380	0,8784	0,9849
zw	GHG	2014-02-17	-4,81	1,92	6,79	0,7395	0,8604	0,9735
zw	GHG	2014-02-24	2,55	6,60	13,26	0,7458	0,8585	0,9486
zw	GHG	2014-02-25	2,68	7,72	14,16	0,7890	0,8786	0,9441
zw	GLG	2013-09-16	-61,51	-48,24	-35,44	0,6285	0,7970	0,8848
zw	GLG	2013-09-17	-56,82	-49,14	-35,45	0,6431	0,7870	0,8917
zw	GLG	2013-09-23	-59,14	-45,21	-35,19	0,7092	0,8276	0,9500
zw	GLG	2013-09-24	-61,63	-45,66	-33,27	0,6890	0,8113	0,9668
zw	GLG	2013-09-30	-46,44	-28,88	-14,46	0,7529	0,8907	0,9803
zw	GLG	2013-10-01	-49,65	-26,93	-16,02	0,7424	0,8980	1,0100
zw	GLG	2013-10-07	-38,23	-22,10	-13,38	0,7867	0,8876	0,9754
zw	GLG	2013-10-08	-40,84	-22,69	-10,93	0,7949	0,8896	1,0182



Figuur 4.2

Geactualiseerde grondwatertrappenkaart voor holocene Nederland, gebruikmakend van de oorspronkelijke, grove, klasse-indeling. De kleuren geven voor 59 kaarteenheden de meest waarschijnlijke grondwatertrap aan voor elke willekeurige locatie binnen een stratum.

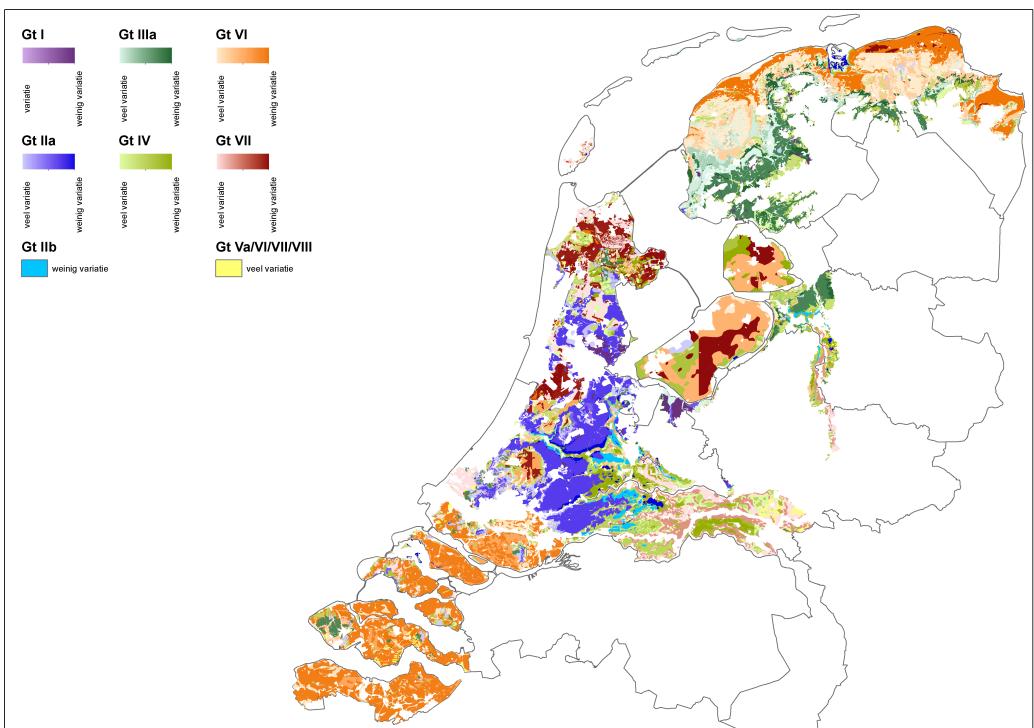
of grotere fluctuatie. Verder blijkt uit deze vergelijking dat bij 27 strata een verschuiving is opgetreden naar een diepere Gt-klasse (42,6% van de oppervlakte) en bij zeven strata een verschuiving naar een minder diepe Gt-klasse (5,4% van de oppervlakte). Een verschuiving naar een diepere Gt vinden we in de kop van Noord-Holland waar, in de strata 44 en 53, nu Gt VII het meest waarschijnlijk is maar die op de oorspronkelijke kaart als respectievelijk Gt VI en IV zijn gekarteerd. De ruimtelijke verbreiding van deze beide strata strekt zich uit tot voorbij Den-Haag en laat op de meetlocaties in zowel de kop van Noord-Holland als elders een verschuiving naar diepere Gt's zien.

De laatste kolom van Tabel F.1 geeft de entropieën die zijn berekend met formule 3.1. Hoe dichter de entropie bij 0 ligt, hoe homogener het stratum, hoe dichter bij 1 hoe heterogener. De vijf meest homogene strata zijn stratum 2, 18, 40, 41 en 44, met grondwatertrappen VI en VII en een gezamenlijke oppervlakte van 141.425 ha (13 % van de kaart). Figuur 4.3 geeft de homogeniteit van de strata weer met de intensiteit van de kleur van de legenda-eenheden: hoe intenser, hoe homogener.

Figuur 4.4 geeft de geactualiseerde grondwatertrappenkaart voor holocene Nederland, gebruikmakend van de gedetailleerde klasse-indeling die tegenwoordig bij detailkarteringen wordt gebruikt. Deze kaart komt sterk overeen met Figuur 4.2, met als voornaamste verschil dat er bij Gt V, VI, VII en VIII onderscheid is gemaakt tussen GLG's binnen 180 cm (o) en GLG's dieper dan 180 cm (d). In stratum 35 ten oosten van Almere is volgens de gedetailleerde Gt-indeling Gt Vlo met 20,4% (zie Tabel F.2) het meest waarschijnlijk. Volgens de oorspronkelijke grove Gt-indeling is echter Gt IV met 26,5% (zie Tabel F.1) het meest waarschijnlijk. Dit is het gevolg van de samenvoeging van IVc en IVu uit de gedetailleerde indeling. Opvallend is de rechte oostelijke begrenzing van stratum 35, die samenvalt met een kaartbladgrens die ook de grens tussen de strata 1 en 2 vormt. Dit soort artefacten blijft ook in de geactualiseerde kaart zichtbaar omdat niet opnieuw ruimtelijke patronen in kaart gebracht zijn.

Tabel F.2 geeft voor elk van de 59 strata de kans waarmee een bepaalde grondwatertrap volgens de gedetailleerde klasse-indeling op een willekeurig punt binnen een stratum voorkomt. Figuur 4.5 geeft de homogeniteit van de strata weer: hoe intenser de kleur, hoe homogener.

Tabel G.1 in bijlage G geeft een samenvatting van de kansverdelingen van GHG's en GLG's voor elk

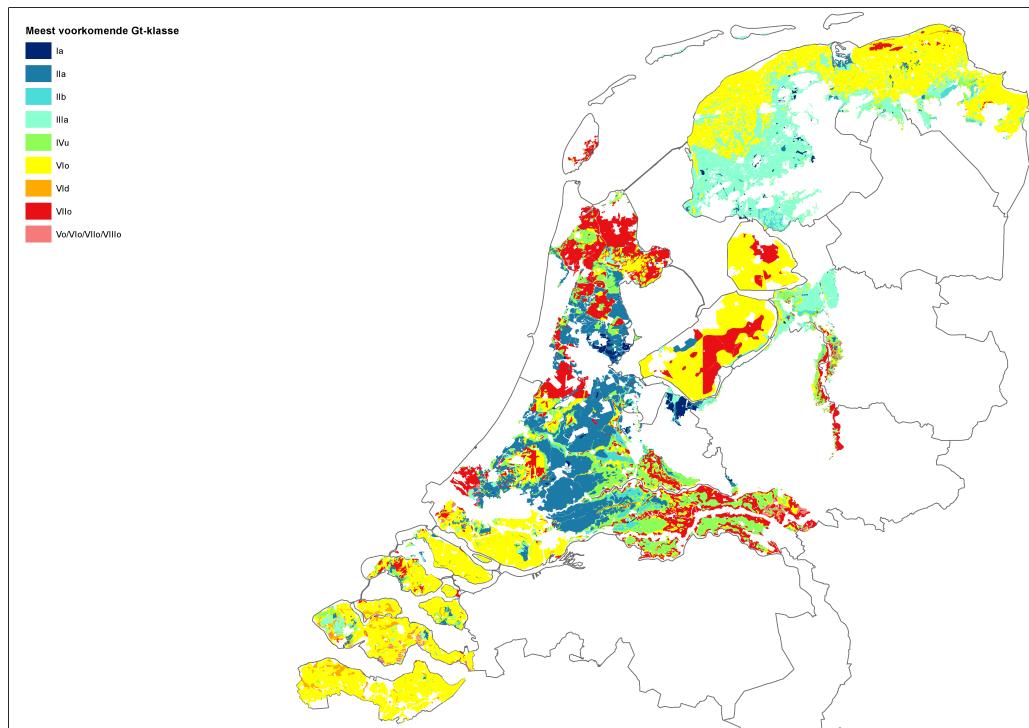


Figuur 4.3

Geactualiseerde grondwatertrappenkaart voor holocene Nederland, gebruikmakend van de oorspronkelijke, grove klasse-indeling. De kleuren geven voor 59 kaarteenheden de meest waarschijnlijke grondwatertrap aan voor elke willekeurige locatie binnen een stratum. De kleurintensiteit geeft de homogeniteit weer: hoe intenser, hoe homogener.

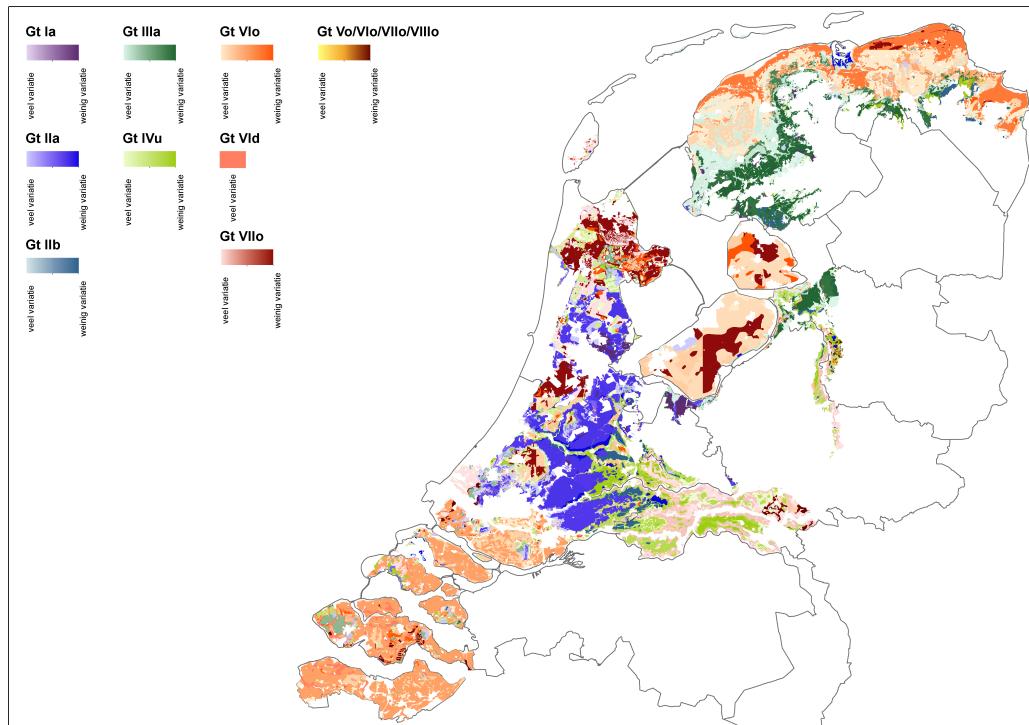
stratum. De kansverdelingen zijn samengevat met vijf percentielwaarden: 5, 25, 50, 75 en 95. De inhoud van de tabel kan als volgt worden geïnterpreteerd: voor een willekeurige locatie in stratum 1 is er 5% kans dat de GHG ondieper is dan 38 cm, 25% kans dat de GHG ondieper is dan 62 cm, 50% kans dat de GHG ondieper is dan 77 cm, 75% kans dat de GHG ondieper is dan 94 cm en 95% kans dat de GHG ondieper is dan 127 cm. In deze kansen zijn de ruimtelijke variatie, de nauwkeurigheid van de stambuisregressie en de nauwkeurigheid van de steekproef verdisconteerd. Figuur 4.6 geeft voor stratum 39 ter illustratie grafisch de onzekerheid rond de verwachte GHG met de donkerblauwe band voor het 50^{ste} percentiel en met de lichtblauwe band voor het 90^{ste} percentiel. Kenmerkend is dat de onzekerheid rond de extremen van de cumulatieve frequentieverdeling groter en minder symetrisch wordt. Het verwachte 90^{ste} percentiel van de variatie in GHG binnen stratum 39 ligt tussen 137 en -2 cm maar als gevolg van de beide genoemde bronnen van onzekerheid loopt de totale variatie van 175 tot -45 cm. Met behulp van de cumulatieve frequentieverdelingen wordt zowel de ruimtelijke variatie van GHG en GLG binnen een stratum weergegeven als de onzekerheid die hierover bestaat als gevolg van de stambuisregressie en de steekproef. Met behulp van de cumulatieve frequentieverdelingen is het mogelijk om voor iedere kritische GxG-waarde de over- of onderschrijdingskansen te bepalen of GxG-waarden horend bij ieder gewenst percentiel. Hierdoor is iedere legenda-indeling mogelijk op basis van overschrijding van gespecificeerde grenswaarden voor bijvoorbeeld natuurdoeltypen of voor nat- of droogteschade bij landbouwkundige toepassingen. De actualisatie is hierdoor bruikbaar voor een grotere verscheidenheid aan toepassingen, waarbij risico's of kansen, nauwkeurigheid en ruimtelijke variatie een rol spelen. Voorbeelden hiervan zijn het kwantificeren van de beschikbare berging in een gebied of de schatting van het areaal getroffen door overstromingen of wateroverlast. Voor elk van de 59 strata zijn dit soort cumulatieve frequentieverdelingen gemaakt, de resultaten voor vijf percentielwaarden staan in Tabel G.1.

Figuur 4.7 geeft voor vier niveaus van de GHG aan waar deze met een kans van 75% of meer worden overschreden. De niveaus zijn gebaseerd op de Gt-classificatie (25, 40, 80 en 140 cm), maar kaarten als in Figuur 4.7 kunnen voor alle gewenste niveaus van GHG en overschrijdingskans worden gemaakt. Figuur 4.8 geeft een soortgelijk beeld voor vier niveaus van de GLG (50, 80, 120 en 200 cm).



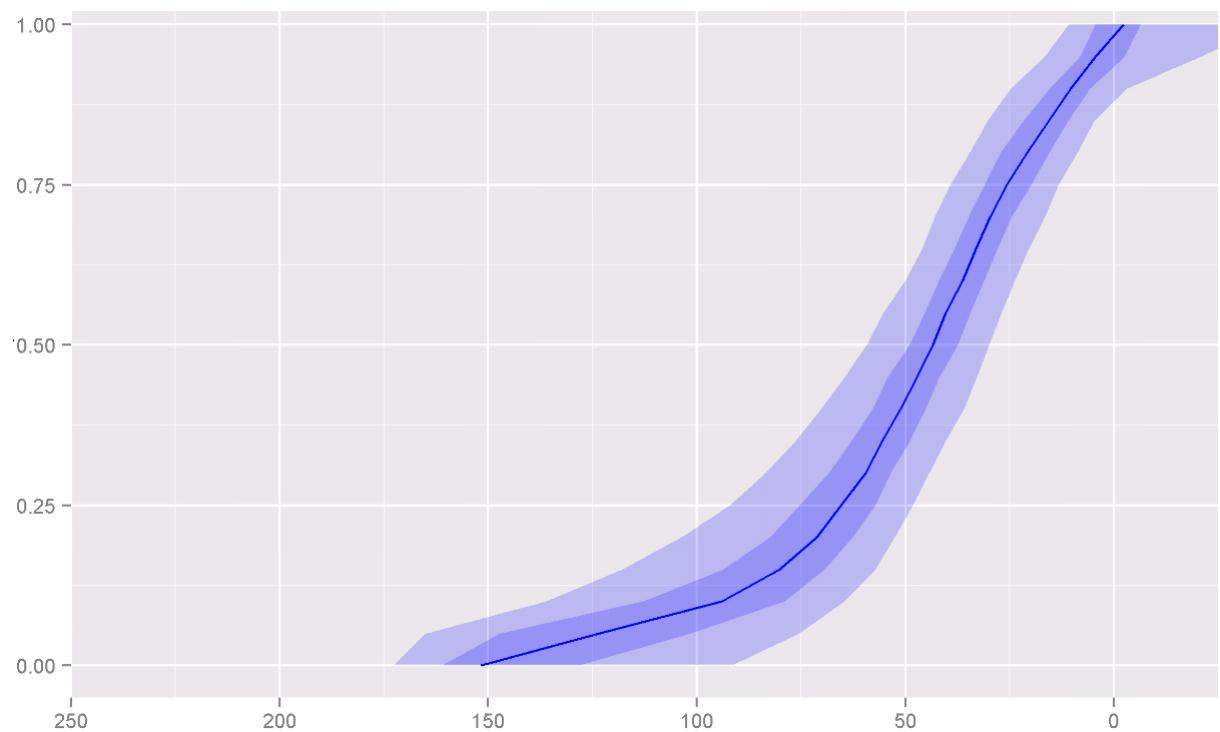
Figuur 4.4

Geactualiseerde grondwatertrappenkaart voor holocene Nederland, gebruikmakend van de gedetailleerde klasse-indeling. De kleuren geven voor 59 kaarteenheden de meest waarschijnlijke grondwatertrap aan voor elke willekeurige locatie binnen een stratum



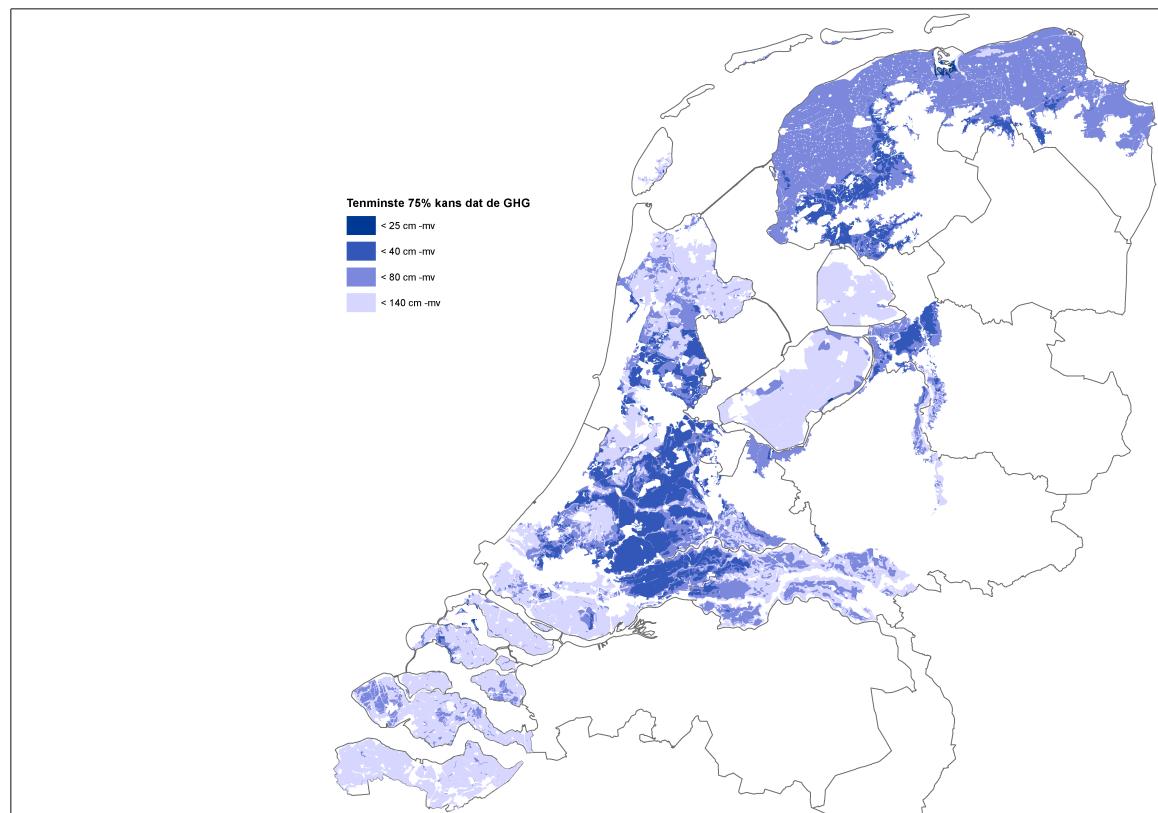
Figuur 4.5

Geactualiseerde grondwatertrappenkaart voor holocene Nederland, gebruikmakend van de gedetailleerde klasse-indeling. De kleuren geven voor 59 kaarteenheden de meest waarschijnlijke grondwatertrap aan voor elke willekeurige locatie binnen een stratum. De kleurintensiteit geeft de homogeniteit weer: hoe intenser, hoe homogener



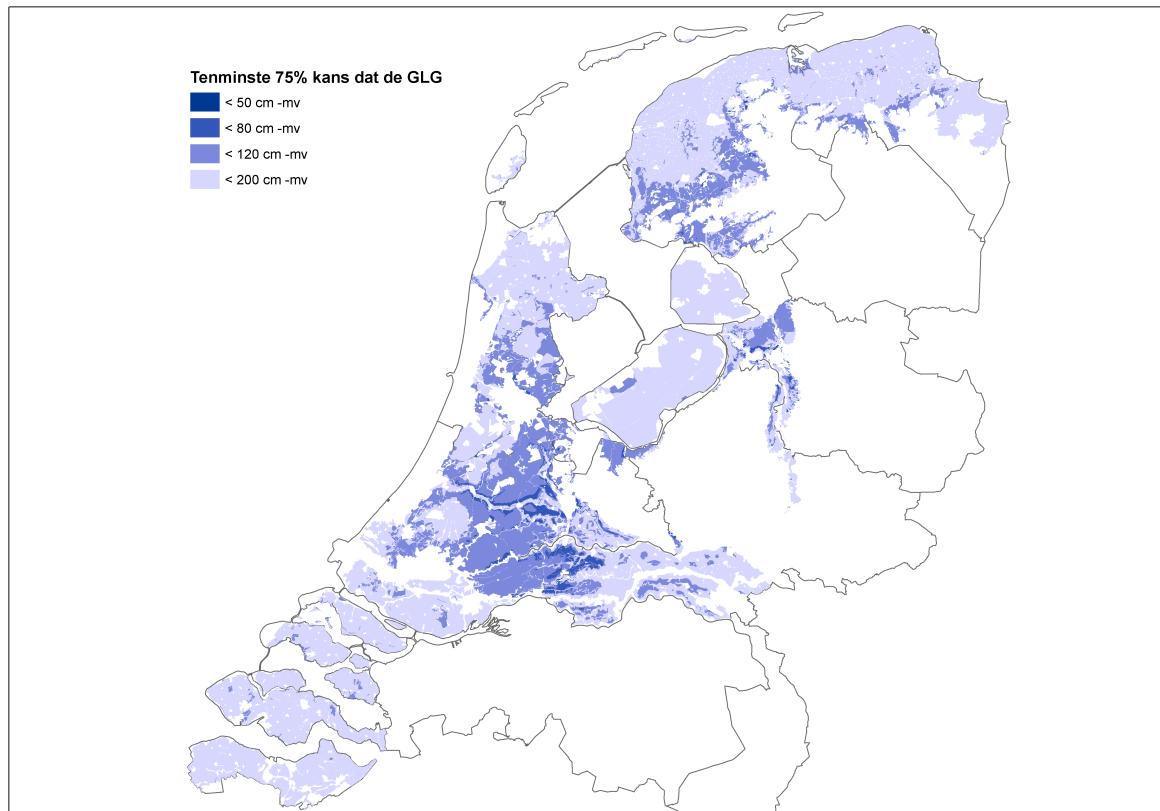
Figuur 4.6

De cumulatieve frequentieverdeling, verticaal, van de GHG, horizontaal, in stratum 39. De lijn geeft de verwachte waarden, de donkerblauwe band het 50 percentiel en de lichtblauwe band het 90 percentiel als gevolg van de onzekerheid



Figuur 4.7

Gebieden waar de kans dat een GHG ondieper is dan 25, 40, 80 of 120 cm ten minste 75% is



Figuur 4.8

Gebieden waar de kans dat een GLG ondieper is dan 50, 80, 120 of 200 cm ten minste 75% is

4.3.2 Beschrijving van de vijf grootste strata

In deze paragraaf beschrijven wij de inhoud van de vijf grootste strata in detail. Deze vijf strata beslaan 31% van de oppervlakte van het holocene deel van Nederland.

Stratum 58: Gt VI, Zuidwest-Nederland, geen stagnatie, ingreep onbepaald, 131.163 hectare

Tabel 4.3 geeft de actuele verdeling van Gt's in stratum 58 volgens de oorspronkelijke klasse-indeling en de gedetailleerde indeling die bij detailkarteringen wordt gevolgd. Uit deze tabel blijkt dat de kans dat op locaties in stratum 58 Gt VI optreedt het grootst is (36,9%). Ook de kans op Gt VII is groot, namelijk 36,2%. Oorspronkelijk is stratum 58 gekarteerd als Gt VI. Mogelijke verklaringen voor een verschuiving in de richting van Gt VII zijn 1) ingrepen in de waterhuishouding, en 2) het feit dat bij de actualisatie gehele percelen tot de doelpopulatie worden gerekend, waardoor dus niet alleen informatie wordt gegeven over perceelsmiddens maar ook over de relatief droge randen van percelen (zie paragraaf 2.2). Tabel 4.4 geeft een samenvatting van de kansverdelingen van de GHG en GLG in stratum 58.

Tabel 4.3

Actuele verdeling van Gt's in stratum 58.

Gt (1:50.000)	Kans (%)	Gt (gedetailleerd)	Kans (%)
VI	36,9	Vlo	26,1
VII	36,2	VIIo	24,1
IV	12,3	VIIId	11,7
V* (Vb)	4,5	VId	10,7
V (Va)	3,2	IVu	8,6
III* (IIb)	1,4	IVc	3,7
IV/VII/VII*	1,2	Vbo	3,3
III (IIIa)	1,1	Vao	2,3
II* (IIb)	0,8	IIIb	1,4
V/VI/VII/VII*	0,8	IVc/VII/VIII	1,2
VII* (VIII)	0,7	IIIa	1,1
V/VI/VII/VII*	0,4	Vbd	1,0
II (IIa)	0,3	IIb	0,8
III/V	0,1	Vd/VId/VIIId/VIIId	0,7
III*/V*	0,1	VIIId	0,5
III (IIIa)	0,0	Vad	0,5
I	0,0	VII	0,5
IV/VI	0,0	Vo/Vlo/VIIo/VIIId	0,4
		Va	0,3
		IIa	0,3
		VIIId	0,2
		Vb	0,1
		V/VI/VII/VIII	0,1
		IIIa/Va	0,1
		IIIb/Vb	0,1
		III	0,0
		VI	0,0
		IVu/VI	0,0
		Ia	0,0
		Ib	0,0

Tabel 4.4

Percentielen van de kansverdelingen van GHG's en GLG's in stratum 58, in cm-maaiveld

	p05	p25	p50	p75	p95
GHG	17	57	76	92	124
GLG	91	129	154	183	227

Stratum 40: Gt VI, Noord- en Midden-Nederland, geen stagnatie, ingreep onbepaald, 59.893 hectare

Tabel 4.5 geeft de actuele verdeling van Gt's in stratum 40 volgens de oorspronkelijke klasse-indeling en de gedetailleerde indeling die bij detailkarteringen wordt gevolgd. De kans dat op een willekeurige locatie in stratum 40 de oorspronkelijke Gt VI voorkomt is 50,47%. Een verschuiving in de richting van Gt VII, zoals bij stratum 58, is hier niet te zien: de kans op Gt V (21,3%) is groter dan de kans op Gt VII (17,15%). Een mogelijke verklaring hiervoor is dat in Noord-Nederland meer kruinige percelen voorkomen dan in Zuidwest-Nederland, waardoor in de randen van de percelen minder diepe grondwaterstanden voorkomen dan in Zuidwest-Nederland. Tabel 4.6 geeft een samenvatting van de kansverdelingen van de GHG en GLG in stratum 40. De verschillen met stratum 58 zijn niet groot; de GHG is in stratum 40 iets minder diep dan in stratum 58.

Tabel 4.5

Actuele verdeling van Gt's in stratum 40.

Gt (1:50.000)	Kans (%)	Gt (gedetailleerd)	Kans (%)
VI	50,47	Vlo	35,49
VII	17,15	Vld	14,99
V* (Vb)	14,65	Vbo	11,21
V (Va)	6,65	Vllo	11,21
IV	5,37	Vlld	5,93
III (IIIA)	2,48	Vao	4,98
III* (IIIB)	1,70	IVu	4,29
II* (IIB)	0,58	Vbd	3,44
II (Ila)	0,49	IIla	2,49
VII* (VIII)	0,43	IIlb	1,70
I	0,04	Vad	1,67
		IVc	1,08
		IIb	0,58
		IIa	0,49
		VIIlo	0,27
		VIIId	0,16
		Ia	0,02
		Ib	0,01

Tabel 4.6

Percentielen van de kansverdelingen van GHG's en GLG's in stratum 40, in cm-maaiveld

	p05	p25	p50	p75	p95
GHG	15	38	55	74	116
GLG	99	139	160	183	221

Stratum 47: Gt II, West-Nederland, stagnatie onbepaald, ingreep, 56.114 hectare

Tabel 4.7 geeft de actuele verdeling van Gt's in stratum 47 volgens de oorspronkelijke klasse-indeling en de gedetailleerde indeling die bij detailkarteringen wordt gevolgd. De oorspronkelijke Gt II is de meest waarschijnlijke Gt-klasse op willekeurige locaties in stratum 47. Daarnaast kunnen Gt Ia/b en IIIa/b voorkomen (resp. 21,41 en 22,09% kans). De verdeling over Gt-klassen kan worden verklaard uit de definitie van de doelpopulatie, zie paragraaf 2.2. Tabel 4.8 geeft een samenvatting van de kansverdelingen van de GHG en GLG in stratum 47.

Tabel 4.7

Actuele verdeling van Gt's in stratum 47.

Gt (1:50.000)	Kans (%)	Gt (gedetailleerd)	Kans (%)
II (IIa)	32,19	IIa	32,19
I	21,41	IIb	17,73
II* (IIb)	17,72	Ia	15,75
IIIa	15,30	IIIa	15,30
III* (IIIb)	6,79	IIIb	6,79
IV	4,37	Ib	5,66
V (Va)	0,83	IVu	4,37
V* (Vb)	0,75	Vao	0,83
VI	0,63	Vbo	0,76
		Vlo	0,63

Tabel 4.8

Percentielen van de kansverdelingen van GHG's en GLG's in stratum 47, in cm-maaiveld

	p05	p25	p50	p75	p95
GHG	-13	6	18	31	54
GLG	17	51	66	82	112

Stratum 1: Gt VI, Flevoland en Noordoostpolder, geen stagnatie, ingreep onbepaald, 53.322 hectare

Tabel 4.9 geeft de actuele verdeling van Gt's in stratum 1 volgens de oorspronkelijke klasse-indeling en de gedetailleerde indeling die bij detailkarteringen wordt gevolgd. De oorspronkelijke Gt VI is de meest waarschijnlijke Gt in dit stratum, maar ook Gt VII en IV kunnen voorkomen. Als gevolg van enkele gecensureerde waarnemingen geeft Tabel 4.9 kleine kansen op enkele associaties van Gt's aan. Tabel 4.10 geeft een samenvatting van de kansverdelingen van de GHG en GLG in stratum 1.

Tabel 4.9

Actuele verdeling van Gt's in stratum 1.

Gt (1:50.000)	Kans (%)	Gt (gedetailleerd)	Kans (%)
VI	29,0	Vlo	22,7
VII	26,5	Vllo	21,4
IV	23,1	IVu	14,9
II* (IIb)	4,8	IVc	8,2
IV/VII/VII*	4,5	Vld	5,0
V/VI/VII/VII*	3,6	IIb	4,8
I	1,9	IVc/VII/VIII	4,5
V* (Vb)	1,8	Vlld	4,1
VII* (VIII)	1,7	Vo/Vlo/Vllo/Vlllo	3,5
III (IIIa)	1,2	Ib	1,9
III* (IIIb)	0,8	VI	1,4
II*/IV/VI	0,5	Vbo	1,3
V (Va)	0,5	III	1,2
III (IIIa)	0,2	VII	1,0
II (IIa)	0,1	VIIId	0,9
II/II*	0,0	IIIb	0,8
		VIII	0,7
		IIb/IVu/VI	0,5
		Vbd	0,3
		Vao	0,2
		IIIa	0,2
		Vad	0,2
		Vb	0,1
		Vd/Vld/Vlld/VIIId	0,1
		IIa	0,1
		Vlllo	0,1
		Ia	0,0
		Va	0,0
		II	0,0

Tabel 4.10

Percentielen van de kansverdelingen van GHG's en GLG's in stratum 1, in cm-maaiveld

	p05	p25	p50	p75	p95
GHG	38	62	77	94	127
GLG	63	105	133	158	195

Stratum 39: Gt V, Noord- en Midden-Nederland, geen stagnatie, geen ingreep, 49.366 hectare

Tabel 4.11 geeft de actuele verdeling van Gt's in stratum 39 volgens de oorspronkelijke klasse-indeling en de gedetailleerde indeling die bij detailkarteringen wordt gevuld. Gt VI is iets waarschijnlijker dan Gt Va of Vb op willekeurige locaties in stratum 39. In stratum 39 hebben waarschijnlijk geen ingrepen in het kader van landinrichting hebben plaatsgevonden. Mogelijk is door de aanleg van drainagemiddelen een verschuiving richting Gt VI opgetreden. Evenals bij stratum 40 is bij stratum 39 de kans op Gt V (25,8%) groter dan de kans op Gt VII (10,7%). Tabel 4.12 geeft een samenvatting van de kansverdelingen van de GHG en GLG in stratum 39. De kans op ondiepe GHG's is relatief groot in vergelijking met andere strata waarin Gt VI de meest waarschijnlijke Gt is (stratum 1, 40 en 58).

Tabel 4.11

Actuele verdeling van Gt's in stratum 39.

Gt (1:50.000)	Kans (%)	Gt (gedetailleerd)	Kans (%)
VI	29,71	Vlo	25,50
V* (Vb)	13,24	Vao	11,77
V (Va)	12,57	Vbo	11,43
III (IIIa)	10,93	IIIa	10,92
IV	9,84	IVu	8,04
VII	7,90	IIIb	7,14
III* (IIIb)	7,13	VIIo	6,07
VII* (VIII)	2,81	VId	4,21
II* (IIb)	2,79	IIb	2,79
II (IIa)	2,72	IIa	2,72
I	0,37	Vbd	1,81
		IVc	1,80
		VIIId	1,71
		VIId	1,70
		Vad	0,80
		VIIlo	0,69
		VIII	0,41
		Ia	0,21
		Ib	0,16
		VII	0,12

Tabel 4.12

Percentielen van de kansverdelingen van GHG's en GLG's in stratum 39, in cm-maaiveld

	p05	p25	p50	p75	p95
GHG	-2	22	41	65	137
GLG	72	108	135	162	202

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

De oorspronkelijke grondwatertrappenkaart, schaal 1 : 50.000, kent Gt's als kaarteenheden. De kaartvlakken voor Gt zijn op basis van geografische ligging in het noorden, midden of zuiden van Nederland en het voorkomen van stagnatie of ingrepen verdeeld in 59 strata. Van elk van deze 59 strata is de actuele inhoud geïnventariseerd in het veld, en beschreven in dit rapport. De geactualiseerde kaart heeft meer ruimtelijk detail omdat het aantal kaarteenheden is uitgebreid van 12 naar 59. Door deze aanpak blijven de begrenzingen van de kaarteenheden uit de oorspronkelijke kaart intact, waardoor artefacten uit de oude kaarten, zoals kaartbladgrenzen, bebouwing, water of wegen het kaartbeeld kunnen beïnvloeden.

Bij de oorspronkelijke grondwatertrappenkaart, schaal 1 : 50.000, was om kaarttechnische redenen generalisatie onvermijdelijk. De oorspronkelijke kaart geeft geen informatie over de variatie in grondwatertrappen binnen kaarteenheden. De geactualiseerde kaart geeft deze informatie wel, omdat frequentieverdelingen van grondwatertrappen, GHG's en GLG's worden gegeven voor alle onbebouwd en onverhard land, met uitzondering van: taluds en bermen langs watergangen, wegen en kunstwerken; onverhard land binnen de bebouwde kom, en bij woningen en bedrijven in het landelijk gebied; gebied waaraan op de bodemkaart, schaal 1 : 50.000, geen Gt-kLASSE is toegekend.

Uit een vergelijking van de Gt's die de actualisatie aangeeft als meest waarschijnlijk met de oorspronkelijke Gt's blijkt dat in 52,4% van holocene Nederland geen verandering van Gt-kLASSE is opgetreden. In 26,1% is een verschuiving is opgetreden naar een Gt-kLASSE met minder fluctuatie. In 21,5% is een verschuiving opgetreden naar een Gt-kLASSE met overeenkomstige of grotere fluctuatie. Verder blijkt dat in 42,6% een verschuiving is opgetreden naar een diepere Gt-kLASSE en in 5,4% naar een minder diepe Gt-kLASSE.

We concluderen dat de nieuwe kaart meer toepassingsmogelijkheden heeft doordat de actualisatie resultaten in de vorm van cumulatieve frequentieverdelingen voor zowel GHG en GLG afzonderlijk als voor de combinatie in Gt's levert. Hierdoor kunnen voor strata risico's worden ingeschat of kunnen over- of onderschrijdskansen van bepaalde kritische situaties worden bepaald. Elke legenda-indeling is mogelijk op basis van overschrijding van, door gebruikers, gespecificeerde grenswaarden voor bijvoorbeeld natuurdoeltypen of voor nat- of droogteschade bij landbouwkundige toepassingen. De actualisatie is hierdoor bruikbaar voor een grote verscheidenheid aan toepassingen, waarbij risico's of kansen, nauwkeurigheid en ruimtelijke variatie binnen strata een rol spelen. Voorbeelden hiervan zijn het kwantificeren van de beschikbare berging in een gebied of de schatting van het areaal getroffen door overstromingen of wateroverlast.

5.2 Aanbevelingen

We adviseren om de geactualiseerde kaarten te gebruiken voor uitspraken op het ruimtelijk detailniveau van de strata, zoals de kans dat op een willekeurige plek binnen een stratum een bepaald kritische GHG-niveau wordt overschreden of een schatting van het areaal binnen een stratum waar wateroverlast optreedt. Voor gebruik op lokale schaal is de geactualiseerde kaart minder geschikt omdat alleen de actuele inhoud van 59 strata is geïnventariseerd en beschreven. Voor uitspraken over de grondwatersituatie op perceelsniveau wordt een detailkartering van de ruimtelijke patrooninformatie aanbevolen.

Voor de grondwaterstandsmetingen in open boorgaten zijn vaak meerdere boorgaten gemaakt om mogelijke stagnatie op de ploegzool of stagnerende lagen in beeld te brengen. Door de gevuldte methode van gerichte opname was het echter niet mogelijk om de duur van de stagnaties vast te stellen. Voor een goede schatting van de diepte en tijdsduur waarop stagnatie kan optreden, wordt aanbevolen hoogfrequent te meten op verschillende diepten, boven en onder stagnerende lagen.

Het aantal peilbuizen die zowel een ruimtelijke ligging als filterstelling kennen die geschikt is voor het waarnemen van de freatische grondwaterstanden is zeer beperkt. Ze liggen veelal geconcentreerd in gebieden waar ingrepen in de waterhuishouding plaatsvinden, zoals waterwingebieden. Om veranderingen van de freatische grondwaterstand te monitoren wordt aanbevolen het bestaande meetnet locaal te verdichten met zorgvuldig geplaatste peilbuizen. Met een dergelijk meetnet is het mogelijk op landelijke of regionale schaal trends waar te nemen, te bepalen wanneer actualisatie nodig is en de informatie uit een dergelijk meetnet kan worden benut bij toekomstige actualisaties.

Bibliografie

- Braat, L.C., Van Amstel, A.R., Gerritsen, A.C., Van Gool, C.R., Gremmen, N., Groen, C.L.G., Rolf, H.L.M., Runhaar, J., en Wiertz, J., 1989, *Verdroging van natuur en landschap in Nederland - beschrijving en analyse*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 's-Gravenhage.
- de Bakker, H. en Schelling, J., 1989, *Systeem van bodemclassificatie voor Nederland. De hogere niveaus, 2e gewijzigde druk. Bewerkt door D.J. Brus en C. van Wallenburg*. Pudoc, Wageningen.
- de Gruijter, J.J., Brus, D.J., Bierkens, M.F.P., en Knotters, M., 2006, *Sampling for Natural Resource Monitoring*. Springer, New York.
- De Vries, F., 1999, *Karakterisering van Nederlandse gronden naar fysisch-chemische kenmerken*. Rapport 654, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- De Vries, F., de Groot, W., Hoogland, T., en Denneboom, J., 2003, *De Bodemkaart van Nederland digitaal; Toelichting bij inhoud, actualiteit en methodiek en korte beschrijving van additionele informatie*. Rapport 811, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte., Wageningen.
- Efron, B. en Tibshirani, R.J., 1993, *An Introduction to the Bootstrap*. Chapman and Hall.
- Finke, P.A., Brus, D.J., Bierkens, M.F.P., Hoogland, T., Knotters, M., en De Vries, F., 2004, Mapping groundwater dynamics using multiple sources of exhaustive high resolution data. *Geoderma* **123**: 23–29.
- Helsel, D., 2004, *Nondetects and data analysis. Statistics for censored environmental data*. Wiley-Interscience.
- Knotters, M., Hoogland, T., en Pleijter, M., 2011, *Actualisatie van de grondwatertrappenkaart van holocene Nederland : opzet van het onderzoek*. Rapport 78, Alterra, Wageningen.
- Steur, G. en Heijink, W., 1987, *Bodemkaart 1 : 50 000. Algemene begrippen en indelingen, 3e uitgebreide uitgave*. Wageningen Stichting voor Bodemkartering.
- Ten Cate, J.A.M., Van Holst, A.F., Kleijer, H., en Stolp, J., 1995, *Handleiding bodemgeografisch onderzoek. Richtlijnen en voorschriften. Deel B: Grondwater*. Rapport 19B, DLO-Staring Centrum.
- van Hees, H.C., 1970, Presentation of the seasonal fluctuation of the water table on soil maps. *Geoderma* **4**(3): 257–278.
- Van Kekem, A.J., Hoogland, T., en Van der Horst, J.B.F., 2005, *Uitspoelingsgevoelige gronden op de kaart. Werkwijze en resultaten*. Rapport 1080, Alterra-WUR.
- Visschers, R., Finke, P.A., en De Gruijter, J.J., 2007, A soil sampling program for the Netherlands. *Geoderma* **139**: 60–72.
- Visser, W., 1958, *De landbouwwaterhuishouding van Nederland*. Rapport Rapport 1, Commissie Landbouwwaterhuishouding van Nederland, Delft. TNO.
- Walvoort, D.J.J., Brus, D.J., en de Gruijter, J.J., 2010, An R package for spatial coverage sampling and random sampling from compact geographical strata by k-means. *Computers and Geosciences* **36**: 1261–1267.

A Niet-parametrische versus parametrische stambuisregressie

We beoordeelden het verschil tussen lineaire regressie met *ordinary least squares* (OLS) en niet-parametrische regressie door beide methoden toe te passen op dezelfde dataset. De vergelijking maakten we met de gegevens van Noord-Holland en Flevoland, voor 22 juli 2013. Hierin zijn 2 van de 39 grondwaterstanden gecensureerd. Deze twee waarnemingen vervangen we door *missing values*.

Voor de GHG vinden we met OLS het volgende model (standaardfouten tussen haakjes):

$$y = 37.96516 + 0.73735 \cdot x + \epsilon \quad (10.87884) \quad (0.07906) \quad (\text{A.1})$$

Voor de GLG vinden we met OLS:

$$y = 2.00550 + 0.84245 \cdot x + \epsilon \quad (12.37719) \quad (0.08995) \quad (\text{A.2})$$

Met niet-parametrische regressie (Theil-Sen, functie **cenken**) vinden we voor de GHG:

$$y = 36.3334 + 0.733334 \cdot x + \epsilon \quad (12.40884780) \quad (0.08389294) \quad (\text{A.3})$$

De standaardfouten zijn geschat door niet-parametrische *bootstrapping* met 1000 replicaties. Voor de GLG vinden we met niet-parametrische regressie het volgende model:

$$y = -2.206248 + 0.81875 \cdot x + \epsilon \quad (12.14394614) \quad (0.08121545) \quad (\text{A.4})$$

Vervolgens beoordeelden we wat het effect is van de wijze waarop met gecensureerde waarnemingen wordt omgegaan bij stambuisregressie. We vergeleken resultaten van de volgende methoden met elkaar:

1. Lineaire regressie (OLS), waarbij gecensureerde waarnemingen zijn vervangen door *missing values*, dus zoals we het tot nu toe deden;
2. Niet-parametrische lineaire regressie (Theil-Sen), met gecensureerde waarnemingen.

De resultaten van lineaire regressie met OLS staan in vergelijking (A.1) en (A.2). Als we rekening houden met de twee gecensureerde waarnemingen, dan vinden we met niet-parametrische regressie het volgende model voor de GHG:

$$y = 32.8248940 + 0.7125733 \cdot x + \epsilon \quad (11.13535690) \quad (0.07670021) \quad (\text{A.5})$$

waarbij de standaardfouten zijn geschat met niet-parametrische *bootstrapping* met 1000 replicaties. Voor de GLG vinden we:

$$y = -5.899999 + 0.800000 \cdot x + \epsilon \quad (12.34845519) \quad (0.08307585) \quad (\text{A.6})$$

Het blijkt dat wanneer rekening wordt gehouden met gecensureerde waarnemingen de hellingparameter iets kleiner wordt.

B Stambuizen in de regio Noord-Nederland

Tabel B.1
 Berekende GHG en GLG uit de DLNO database en gemeten grondwaterstanden in de stambuizen tijdens de gerichte opnamen in noord Nederland in cm. t.o.v. maaiveld.
 (Negatieve waarden staan voor grondwaterstanden boven het maaiveld)

FILTER	X-coördinaten	Y-coördinaten	GHG	GLG	Datum 24-okt-11	1-nov-11	8-nov-11	14-nov-11	28-aug-12	10-sep-12
B02G0368	205660	602190	-17	85	-4	-2	1	5	6	20
B02G0369	205190	601585	15	164	18	39	56	70	148	154
B06B0136	190425	594525	53	159	3	10	45	64	> 70	90
B06C0323	188667	583525	46	106	70	79	85	90	82	89
B06D0475	193270	576715	27	69	20	25	28	31	34	42
B06G0146	209275	586625	-4	113	50	45	63	77	77	71
B06G0152	208387	586275	35	107	51	66	65	69	69	76
B07D0552	238550	578150	12	75	18	21	26	32	28	32
B08C0063	262370	580330	151	180	177	182	188	195	178	176
B10B0298	159500	574675	32	119	38	57	67	73	68	71
B10B0303	159325	573550	1	134	29	40	48	58	52	53
B10B0344	157405	574300	10	95	52	58	64	71	51	65
B10E0110	168825	570550	48	124	70	92	100	100	79	87
B10F0142	179680	562520	-19	58	15	20	-20	> -40	42	44
B10H0305	174860	558082	-12	62	20	32	37	34	34	46
B10H0307	179150	557190	5	60	12	13	15	19	34	28
B11C0329	183898	558350	17	61	12	11	6	0	14	22
B11D0161	198202	561171	23	104	28	35	40	42	54	59
B12F0152	258227	574662	21	100	71	77	87	93	81	80
B16A0081	187172	547090	26	141	67	95	95	98	103	111

C Stambuizen in de regio rivieren en flanken

Tabel C.1
 Berekende GHG en GLG uit de DINO database en gemeten grondwaterstanden in de stambuizen tijdens de gerichte opnames in regio rivieren en flanken in cm. t.o.v.
 maiveld. (Buizen met aanduiding ALT- komen niet uit de DINO database maar zijn buizen van medewerkers van ALTERRA)

FILTER	X-coördinaten	Y-coördinaten	GHG	GLG	Datum	12-mrt-12	19-mrt-12	26-mrt-12	2-apr-12	17-sep-12	27-sep-12	1-okt-12	9-okt-12
B21D0552	195250	501810	8	46	45	54	52	54	51	53	53	53	53
B21D0566	193360	511320	95	123	91	95	98	96	74	90	92	87	87
B26C0512	145760	478550	103	157	112	148	139	143	145	146	151	152	137
B26C0513	146090	478045	90	148	139	143	145	146	151	112	115	94	94
B27D0277	199970	483000	71	114	107	110	111	109	133	112	115	202	202
B27G0099	202880	479970	73	191	119	135	141	141	144	216	226	220	220
B27G0312	200710	475620	71	135	118	118	120	139	159	133	136	102	102
B27G0330	201900	485620	73	155	123	129	138	139	169	161	161	139	139
B31C0190	106949	457545	34	118	51	61	72	75	93	50	41	41	41
B31F0249	131372	471359	21	70	40	46	52	58	67	52	36	36	36
B31G0272	127800	456050	34	133	54	80	89	90	114	97	70	70	70
B31G0304	126993	457624	45	101	65	76	81	82	93	86	86	65	65
B32B0402	150490	470340	107	144	131	135	137	135	135	135	130	119	119
B32C0739	143057	454538	79	109	89	96	96	94	98	89	81	81	81
B32C0748	142825	453745	80	185	103	122	127	127	212	183	152	152	152
B32C0763	142475	454110	24	68	31	47	50	47	61	56	43	43	43
B32E0207	160230	470260	83	148	125	130	131	129	137	131	106	106	106
B33E0344	200970	473700	58	145	103	115	117	121	180	147	151	108	108
B38H0306	137081	436307	49	72	61	66	65	59	63	60	53	53	53
B38H0366	136992	431314	48	114	70	75	82	87	147	121	78	78	78
B38H0368	138382	432393	89	157	138	143	147	149	153	152	152	133	133
B39B0441	150040	444820	143	180	160	166	168	169	174	172	171	165	165
B39B0476	156059	446787	89	169	115	124	132	136	162	140	141	121	121
B39G0364	160645	429558	32	128	33	47	55	58	141	125	124	103	103
B45A0418	140017	422536	26	87	23	33	41	43	77	62	41	35	35
B45A0419	140429	422443	6	67	22	30	39	41	73	49	149	149	149
ALT- Nijbroek	201044	478352	102	180	119	129	140	147	178	150	152	99	87
ALT- Hoogland	157139	469939	68	112	100	104	105	96	108	150	152	99	87

D Stambuizen in de regio Noord-Holland en Flevoland

Tabel D.1

Berekende GHG en GLG uit de DINO database en gemeten grondwaterstanden in de stambuizen tijdens de gerichte opnamen in regio Noord-Holland en Flevoland in cm.
t.o.v. maaiveld. (Buizen met aanduiding ALT- of Wb komen niet uit de DINO database maar zijn buizen van respectievelijk medewerkers van AL TERRA en buizen op de
proefboerderij de Waabberhoeve in Lelystad) (Negatieve waarden staan voor grondwaterstanden boven het maaiveld)

FILTER	X-coördinaten	Y-coördinaten	GHG	GLG	Datum	12-mrt-13	18-mrt-13	25-mrt-13	2-apr-13	8-jul-13	15-jul-13	22-jul-13
B15H0072	174893	535953	106	136	144	153	155	159	159	159	157	>171
B19G0399	121800	509300	37	111	56	53	69	76	>171	>171	>171	>171
B19H0316	131398	500134	23	52	37	35	39	40	50	50	53	56
B19H0317	131510	500150	8	51	0	3	12	17	42	46	46	50
B19H0319	131506	500170	0	36	2	1	6	10	30	35	38	38
B19H0320	131765	500212	14	35	34	33	36	37	45	46	48	48
B19H0322	132198	500272	-2	11	11	117	125	131	152	157	172	172
B21A0131	189555	521917	111	183	183	120	142	122	132	132	165	165
B21A0135	189153	522858	109	132	120	142	142	132	130	130	132	132
B21A0136	189103	522936	141	157	150	151	152	154	150	153	168	168
B21A0137	189063	522999	141	160	151	152	155	157	156	160	168	168
B21A0159	181676	518648	-10	72	32	30	42	48	89	95	109	109
B21A0160	181782	518663	72	100	111	119	115	118	123	135	135	135
B21B0483	190136	521595	19	97	27	16	37	71	83	75	75	75
B26E0136	169600	489463	78	96	95	89	96	99	109	110	120	120
B26E0137	169800	489900	65	93	93	95	95	100	101	101	110	110
B26F0296	171720	489163	78	103	82	87	90	94	101	97	110	110
B26F0303	173020	490030	7	32	9	16	21	29	31	30	42	42
B26F0304	173053	490068	9	31	13	19	24	31	34	32	38	38
B26F0305	173100	490100	10	34	17	21	28	34	37	37	42	42
B26F0312	173050	490140	5	39	14	20	32	35	36	35	44	44
B26G0432	169235	486469	0	52	5	4	4	11	20	58	65	>70
B25H0743	138340	486175	97	164	100	96	104	104	104	135	140	146
B25H0744	138390	486082	79	164	83	83	88	90	113	115	119	119
B25H0745	138451	485971	88	161	83	84	89	90	111	118	122	122
B14B0162	118098	542850	87	153	90	82	94	102	138	144	149	149
B14B0174	118808	538830	56	138	83	80	80	85	106	112	118	118
B14C0148	106398	529220	10	95	8	2	18	33	70	77	82	82
B14D0120	119438	535030	96	162	112	109	111	113	134	142	151	151
B19B0345	112708	521632	108	174	107	100	114	119	119	146	149	157
B09D0361	117057	561281	60	105	105	105	105	105	105	105	105	105
B09D0362	118317	561401	38	102	102	102	102	102	102	102	109	114
B09E0028	120297	565731	137	159	100	100	100	105	105	105	105	105
Wb -1	168497	504702	56	136	66	54	73	134	134	136	149	149
Wb -6	168306	504694	67	145	67	61	85	159	159	165	155	155
ALT- Hoogland	157139	469939	68	112	100	95	102	105	108	108	124	118

E Stambuizen in de regio Zuidwest-Nederland

Tabel E.1
 Berekende GHG en GLG uit de DINO database en gemeten grondwaterstanden in de stambuizen tijdens de gerichte opnamen in Zuidwest-Nederland in cm. t.o.v. maaiveld. (Negatieve waarden staan voor grondwaterstanden boven het maaiveld)

FILTER	X-coördinaten	Y-coördinaten	GHG	GLG	Datum	16-sep-13	23-sep-13	30-sep-13	7-okt-13	10-feb-14	17-feb-14	24-feb-14
B31C0190	106949	457545	32	104	42	51	67	72	33	43	46	46
B33E0377	81388	445379	69	142	89	91	95	96	71	78	84	84
B37E0394	88466	449712	43	117	45	55	71	76	39	49	56	56
B38D0357	110662	432733	-2	24	10	12	14	15	5	8	9	9
B38G1892	120114	436189	13	50	21	30	42	44	20	24	27	27
B38H0235	130410	427720	21	97	< 40	71	75	86	> 20	34	42	42
B43A0099	64046	420303	163	202	186	188	198	203	169	171	185	185
B43A0138	64098	416338	19	76	28	35	45	43	21	25	29	29
B43F0280	82541	422459	15	183	204	193	186	182	16	22	31	31
B47H0112	19535	376790	20	135	148	150	153	156	12	17	19	19
B48B1492	32530	399334	104	157	148	147	152	154	118	131	143	143
B48B1493	35999	395089	28	130	122	126	131	137	29	38	60	60
B48E1644	46706	396430	45	70	61	60	61	62	58	62	64	64
B48E1646	45113	394261	60	129	133	121	127	132	67	73	80	80
B48E1647	44558	390576	9	99	71	71	85	86	24	39	53	53
B48E1648	46863	391272	66	101	102	102	101	101	78	84	86	86
B48G0240	47150	385180	7	83	44	47	47	67	10	14	12	12
B48G0241	47450	385300	25	159	138	128	139	141	45	55	53	53
B48G0242	47700	385425	68	204	163	166	171	192	89	94	88	88
B49B0555	72500	399500	59	135	102	101	107	120	63	66	79	79
B53F0034	18510	365920	38	131	107	98	104	110	31	44	57	57
B53F0039	17940	371670	174	231	230	230	236	239	173	185	196	196
B54F0109	59250	373840	21	129	92	73	82	92	4	7	12	12
B54F0110	59620	374690	6	85	43	34	48	54	9	9	13	13
B54G0034	49410	360990	155	227	203	199	203	209	159	158	166	166
B55A0371	66460	369480	91	145	106	101	107	107	101	99	103	103
K15z0	52131	409921	21	72	23	32	50	62	6	11	24	24
K16o	51135	410186	5	66	24	27	46	50	9	2	13	13
K18z0	48333	414539	23	80	39	48	71	87	9	22	37	37
K22o	49174	413420	39	86	87	90	102	103	36	47	57	57

F Kans waarmee een grondwatertrap voorkomt

Tabel F.1
Kans waarmee een grondwatertrap voorkomt op een willekeurige locatie binnen een stratum. Beschrijving van de strata: zie Tabel 3.1

Stratum	I	II (IIa)	II* (IIb)	III (IIIa)	III* (IIIb)	IV	V (Va)	V* (Vb)	VI	VII	VII* (VIII)	Associaties	meest waarschijnlijk		
													modus	Gt	
1	1,9	0,1	4,8	0,2	0,8	23,1	0,5	1,8	29,0	26,5	1,7	9,8	29,0	V1	0,58
2	0,5	0,0	3,4	0,3	1,0	23,9	0,3	0,8	20,0	45,4	4,4	45,4	0,45	VII	0,45
3	38,4	20,3	11,6	6,0	3,3	17,6	0,9	0,9	0,9	0,2	38,4	38,4	0,53	I	0,53
4	30,5	25,3	19,2	11,4	8,4	3,5	1,1	0,4	0,3	30,5	30,5	1	0,54	IIa	0,54
5	16,5	23,0	22,2	7,3	6,8	21,4	0,8	0,2	1,7	23,0	23,0	IIa	0,57	IIa	0,57
6	23,1	39,0	5,6	19,4	1,3	1,7	0,6	0,3	8,9	39,0	39,0	IIa	0,50	IIa	0,50
7	9,8	16,5	11,9	22,5	13,0	18,8	3,2	1,3	2,6	0,1	0,2	22,5	0,63	IIIa	0,63
8	4,3	9,3	12,6	18,4	11,7	18,4	11,7	6,3	6,5	0,9	18,4	18,4	0,68	IV	0,68
9	4,1	4,4	22,5	4,6	12,4	41,7	0,1	1,6	5,5	0,5	41,7	41,7	0,56	IV	0,56
10	6,9	14,3	13,5	8,1	9,4	26,2	1,0	1,8	13,4	5,4	26,2	26,2	0,66	IV	0,66
11	3,3	9,3	20,6	3,6	8,3	24,4	1,7	11,6	12,4	4,4	24,4	24,4	0,66	IV	0,66
12	2,1	6,2	19,8	2,7	5,9	28,7	0,5	4,9	22,6	6,6	0,0	28,7	0,60	IV	0,60
13	2,4	4,6	17,3	8,1	7,9	18,2	8,4	10,5	13,6	2,2	0,2	6,6	0,75	IV	0,75
14	1,8	9,3	7,5	21,1	12,6	29,5	5,5	2,8	8,4	1,5	2,4	29,5	0,63	IV	0,63
15	0,0	1,2	5,8	1,6	3,0	33,8	0,1	1,2	15,5	2,7	35,1	33,8	0,66	IV	0,66
16	7,3	7,2	8,7	1,4	3,7	28,1	0,1	1,4	21,1	21,0	22,8	28,1	0,59	IV	0,59
17	0,6	1,2	6,9	8,7	4,4	21,5	1,1	0,6	20,8	10,0	1,4	21,5	0,74	IV	0,74
18	0,5	2,6	0,9	2,7	2,4	20,0	2,0	6,8	50,1	12,1	50,1	50,1	0,49	VI	0,49
19	2,8	4,0	8,1	8,4	8,9	20,0	8,5	2,0	22,6	14,1	0,4	22,6	0,67	VI	0,67
20	2,0	3,8	2,3	3,2	2,5	17,2	0,4	2,5	24,1	39,9	2,1	39,9	0,54	VI	0,54
21	0,5	1,4	1,4	1,4	4,2	12,0	0,4	2,8	17,9	27,9	4,4	27,9	0,69	VII	0,69
22	0,5	5,6	2,2	27,0	6,1	2,4	21,9	2,7	20,8	6,4	4,5	27,0	0,64	IIIa	0,64
23	1,2	0,9	9,7	1,5	3,7	32,2	0,6	1,9	26,4	21,7	0,1	32,2	0,53	IV	0,53
24	8,9	21,1	13,2	18,2	7,0	9,3	4,6	1,1	6,3	6,2	4,1	21,1	0,70	IIa	0,70
25	0,0	0,0	0,7	2,0	5,1	12,0	2,8	6,7	11,4	7,1	2,7	49,5	0,74	Va/VI/VII/VIII	0,74
26	1,3	3,4	5,0	4,3	2,7	18,7	2,3	4,0	30,0	24,3	4,2	30,0	0,61	VI	0,61
27	23,5	35,7	23,6	7,0	4,3	3,3	4,0	2,4	0,2	0,2	34,1	35,7	0,50	IIa	0,50
28	16,1	26,5	34,1	8,0	7,3	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	34,1	34,1	0,52	IIb	0,52

Tabel F.1
 (vervolg) Kans waarmee een grondwatertrap voorkomt op een willekeurige locatie binnen een stratum. Beschrijving van de strata: zie Tabel 3.1

Stratum	I	II (IIa)	II* (IIb)	III (IIIa)	III* (IIIb)	IV	V (Va)	V* (Vb)	VI	VII	VII* (VII)	Associaties	meest waarschijnlijk		
													modus	Gt	entropie
29	5,6	14,5	8,2	20,4	11,1	18,4	7,6	4,0	8,7	1,6			20,4	IIIa	0,68
30	2,6	12,6	10,5	23,9	14,3	11,2	9,7	5,3	8,0	2,0			23,9	IIIa	0,68
31	0,1	4,9	4,8	17,8	13,4	16,5	10,4	12,3	16,5	3,0	0,4		17,8	IIIa	0,67
32	0,2	2,4	3,0	29,3	13,8	9,1	10,6	9,4	17,9	4,4	0,0		29,3	IIIa	0,63
33	2,1	7,8	6,2	21,9	14,8	16,1	6,8	8,0	14,0	2,5			21,9	IIIa	0,67
34	2,6	8,1	7,8	17,0	10,0	18,1	17,1	9,3	9,2	0,9			18,1	IV	0,68
35	8,0	1,9	9,4	1,4	2,2	26,5	1,8	2,3	21,7	21,4	0,5		26,5	IV	0,62
36	2,0	2,4	2,1	11,8	9,5	19,9	9,9	12,1	24,3	5,2	0,8		24,3	VI	0,66
37	0,0	1,2	1,1	12,7	6,4	13,1	18,5	17,4	24,7	4,9	0,1		24,7	VI	0,61
38	0,1	2,3	3,2	9,2	6,6	12,3	10,4	10,6	35,2	9,7	0,4		35,2	VI	0,62
39	0,4	2,7	2,8	10,9	7,1	9,8	12,6	13,2	29,7	7,9	2,8		29,7	VI	0,66
40	0,0	0,5	0,6	2,5	1,7	5,4	6,6	14,7	50,5	17,2	0,4		50,5	VI	0,48
41	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	8,2	1,3	2,1	18,5	47,3	21,7		47,3	VII	0,44
42	9,2	15,4	16,0	25,8	13,3	9,6	5,4	3,5	1,2	0,6	0,1		25,8	IIIa	0,64
43	8,0	22,7	13,3	24,4	10,6	8,3	6,0	3,1	3,1	0,7			24,4	IIIa	0,64
44	1,1	0,5	4,6	1,1	3,2	30,9	0,5	18,1					39,9	VII	0,46
45	25,5	26,4	12,3	14,9	8,4	8,6	0,8	2,1	0,8				26,4	IIa	0,58
46	9,6	20,2	16,3	15,1	7,9	15,5	1,0	1,6	10,2	2,4			20,2	IIa	0,66
47	21,4	32,2	17,7	15,3	6,8	4,4	0,8	0,8	0,6				32,2	IIa	0,55
48	20,6	30,1	18,4	17,3	8,2	3,7	0,4	0,3	0,7	0,3			30,1	IIa	0,55
49	10,3	20,1	14,1	16,8	9,6	11,3	5,1	2,6	10,0				20,1	IIa	0,66
50	2,8	2,4	8,9	5,9	4,5	23,9	2,0	1,8	20,4	8,2			19,1	IV	0,75
51	2,7	13,5	3,7	7,5	6,8	30,4	2,8	4,2	22,7	5,7			30,4	IV	0,63
52	3,7	7,1	6,4	10,6	7,0	25,8	3,8	5,5	19,7	10,4			25,8	IV	0,67
53	4,9	6,8	7,3	5,3	1,8	25,4	0,5	0,9	17,3	29,6			29,6	VII	0,59
54	0,6	1,6	4,9	11,4	10,0	24,0	10,3	9,8	13,8	13,7			24,0	IV	0,66
55	3,4	2,6	5,6	9,7	7,4	24,8	4,7	4,3	22,4	15,2			24,8	IV	0,65
56	0,3	3,3	2,2	6,1	15,5	1,6	4,2	32,5	19,5				32,5	VI	0,65
57	0,6	0,6	1,3	0,8	1,9	26,0	0,8	2,3	28,7	28,0	0,3		28,7	VI	0,56
58	0,0	0,3	0,8	1,1	1,4	12,3	3,2	4,5	36,9	36,2	0,7		36,9	VI	0,50
59	0,3	0,2	10,6	1,9	0,3	7,9	7,1	27,0	24,4	6,5			27,0	VI	0,65

Tabel F.2
Kans waarmee een grondwatertrap voorkomt op een willekeurige locatie binnen een stratum, gebaseerd op de gedetailleerde Gr-indeling. Beschrijving van de strata: zie Tabel 3.1

Stratum	Ia	Ib	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IVc	IVu	Vao	Vad	Vbo	Vbd	Vlo	Vld	Vllo	Vlld	Vlld	Associaties	meest waarschijnlijk		Entropie	
																			Gt	Modus		
1	0,0	1,9	0,1	4,8	0,2	0,8	8,2	14,9	0,2	0,2	1,3	0,3	22,7	5,0	21,4	4,1	0,1	0,9	13,1	22,7	Vlo	0,65
2		0,5		3,4	0,3	1,0	8,8	15,1	0,3	0,8	17,9	2,1	38,0	7,5	2,7	1,7	0,2	0,9	38,0	Vllo	0,52	
3	28,7	9,7	20,4	11,6	6,0	3,3	1,2	16,4	0,9	0,9	0,9	0,9								Ia	0,53	
4	27,2	3,3	25,3	19,1	11,4	8,4	0,4	3,0	1,1	0,4	0,4	0,3								Ia	0,50	
5	12,5	4,1	23,0	22,2	7,3	6,7	0,0	21,4	0,8	0,2	0,2	1,7								Ila	0,52	
6	18,2	5,0	39,0	5,6	19,4	1,3	1,0	0,7	0,7	0,3	8,9									39,0		
7	6,7	3,2	16,5	11,9	12,9	2,1	16,8	3,2	1,3	2,6										Ila	0,47	
8	3,0	1,3	9,3	12,6	18,3	11,7	2,8	15,5	11,3	0,4	6,0	0,2	6,3	0,2	0,9	0,5	0,5	18,3		IIIa	0,58	
9	1,3	2,8	4,4	22,5	4,6	12,5	3,2	38,5	0,1	1,6	5,5									IVu	0,63	
10	2,4	4,4	14,3	13,5	8,1	9,4	3,2	23,0	1,0	1,8	13,2	0,2	4,8	0,7	0,7	0,7	0,2	2,4		38,5		
11	1,6	1,8	9,3	20,6	3,6	8,3	3,0	21,4	1,7	1,1	0,5	12,4	2,6	1,8	0,2	0,3	0,3	23,0		IVu	0,61	
12	1,2	0,9	6,2	19,8	2,7	5,9	7,1	21,5	0,5	1,9	3,0	16,6	6,0	6,4	0,2	0,0	0,0	21,5		IVu	0,61	
13	1,3	1,1	4,6	17,3	8,1	8,0	1,7	16,5	8,4	10,1	0,4	13,2	0,4	2,2	1,5	1,5	0,4	17,3		IIb	0,67	
14	0,8	1,1	9,2	7,5	21,1	12,6	3,3	26,3	5,5	2,8	8,4									IVu	0,57	
15	0,0	1,2	5,8	1,6	3,0	4,7	29,1	0,1	1,2	15,5	2,7									IVu	0,61	
16	5,2	2,2	7,2	8,7	1,4	3,7	3,5	24,6	0,1	1,4	20,2	1,0	8,8	12,2						IVu		
17	0,6	1,2	6,9	8,7	4,4	3,3	1,1	18,2	1,1	0,6	17,9	2,9	8,9	1,1	0,2	1,3	22,8		IVu	0,70		
18	0,2	0,3	2,5	0,9	2,7	2,5	0,8	19,3	1,5	0,5	6,0	0,8	48,9	1,1	11,3	0,7	0,7	0,7		Vlo	0,46	
19	0,4	2,4	4,0	8,1	8,4	8,9	1,5	18,5	8,2	0,3	20,3	2,3	11,5	2,6	0,4	0,0	0,0	20,3		Vlo	0,64	
20	1,3	0,6	3,8	2,3	3,2	5,4	11,9	0,3	0,1	2,3	0,2	22,4	1,7	13,0	0,4	1,7	1,7	27,0		Vlo	0,59	
21		0,5	1,4	4,2	4,7	7,4	0,2	1,3	1,5	1,5	13,6	4,2	10,0	2,1	2,2	2,8	28,5		Vlo	0,74		
22	0,4	0,1	5,6	2,2	27,0	6,1	0,1	21,9	2,2	2,5	0,2	13,1	7,8	2,3	4,0	4,0	4,5		Vlo	0,61		
23	0,3	0,9	9,7	1,5	3,7	9,6	0,6	22,6	0,6	1,9	0,0	25,4	1,0	20,5	1,2	0,1	0,1	25,4		IIa	0,54	
24	5,9	3,1	21,2	13,2	18,1	7,0	0,8	8,6	4,4	0,2	1,0	0,1	5,9	0,3	4,7	1,5	3,1	1,0	21,2		Vlo	0,65
25		0,7	0,6	3,4	5,0	2,7	5,5	13,2	2,3	3,8	0,1	27,0	3,0	19,1	6,3	0,8	0,7	0,1	51,4	Vlo/Vlo/Vlo/Vlo	0,68	
26		11,4	35,7	23,6	7,1	4,3	0,0	3,2	0,0	2,3	0,1	0,2	5,2	0,1	4,1	0,1	0,1	0,1	27,0	Vlo	0,63	
27	12,2	34,1	8,1	7,3	0,2	7,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2	2,3	0,1	2,3	0,1	0,1	0,1	35,7		Ila	0,48
28	8,9	7,3	26,5	11,1	3,2	15,2	4,0	8,4	0,3	0,3	0,2	0,2	3,4	0,1	3,4	0,1	0,1	0,1	34,1		IIb	0,48
29	3,9	1,7	14,5	20,4	11,1	3,2	7,5	0,1	4,0	8,4	0,1	0,1	20,4	0,1	20,4	0,1	0,1	0,1	20,4		IIIa	0,62
30	1,4	1,1	12,6	10,5	14,3	2,3	8,8	9,4	0,2	0,1	6,6	1,3	1,3	0,7					23,9		IIIa	0,62

Tabel F.2
 (vervolg) Kans waarmee een grondwatertrap voorkomt op een willekeurige locatie binnen een stratum, gebaseerd op de gedetailleerde Gt-indeling. Beschrijving van de strata: zie Tabel 3.1

Stratum	Ia	Ib	IIa	IIb	IIIa	IVc	IVu	Vao	Vad	Vbd	Vbo	Vld	Vlo	Vlld	Vllo	Vlld	Associaties	meest waarschijnlijk Modus	Gt	Entropie	
31	0,1	4,9	4,8	17,8	13,4	3,3	13,2	10,0	0,4	11,2	1,0	15,2	1,2	2,7	0,2	0,4	0,0	17,8	IIIa	0,63	
32	0,2	0,0	2,4	2,9	29,3	13,9	1,3	7,8	10,4	0,2	8,0	1,4	15,3	2,6	3,6	0,8	0,1	29,3	IIIa	0,59	
33	1,0	1,0	7,8	6,2	21,9	14,7	2,6	13,4	6,4	0,4	7,6	0,4	13,0	1,0	2,4	0,1	0,5	21,9	IIIa	0,62	
34	1,9	0,7	8,1	7,8	17,1	10,0	1,6	16,4	15,8	1,3	9,0	0,4	8,7	0,5	0,8	0,1	0,5	17,1	IIIa	0,63	
35	1,0	7,0	9,4	1,4	2,2	7,6	18,9	1,7	0,1	2,0	0,3	20,4	1,3	17,0	4,4	0,4	0,1	20,4	Vlo	0,64	
36	1,5	0,4	2,4	2,1	11,8	9,5	4,0	15,9	9,3	0,6	11,2	1,0	22,3	2,0	4,3	0,8	0,3	22,3	Vlo	0,64	
37	0,0	1,2	1,1	12,7	6,4	2,4	10,7	17,2	1,2	15,3	2,1	21,8	2,9	4,5	0,4	0,1	21,8	Vlo	0,60		
38	0,1	2,3	3,2	9,2	6,6	2,2	10,1	8,6	1,7	8,1	2,4	25,0	2,5	6,2	3,5	0,3	0,1	25,0	Vlo	0,66	
39	0,2	0,2	2,7	2,8	10,9	7,1	1,8	8,0	11,8	0,8	11,4	1,8	25,5	4,2	6,1	1,7	0,7	1,7	0,5	0,66	
40	0,0	0,0	0,5	0,6	2,5	1,7	1,1	4,3	5,0	1,7	11,2	3,4	35,5	15,0	11,2	5,9	0,3	0,2	35,5	Vlo	0,57
41	4,9	4,2	15,4	15,9	25,8	13,3	2,1	7,4	0,8	0,4	0,9	0,7	1,3	10,7	7,8	35,1	12,2	4,1	17,6	Vllo	0,53
42	4,4	3,6	22,7	13,3	24,3	10,6	1,4	6,9	6,0	3,5	0,0	1,2	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	25,8	IIIa	0,58	
43	0,0	1,1	0,5	4,7	1,1	3,2	15,1	15,8	0,5	3,1	3,1	0,7	0,7	0,1	0,1	0,1	0,1	24,3	IIIa	0,58	
44	20,5	4,9	26,5	12,4	14,9	8,5	8,6	8,6	0,8	2,1	0,9	16,5	1,6	34,6	5,3	0,5	0,1	34,6	Vllo	0,51	
45	7,8	1,9	20,3	16,3	15,1	7,9	1,4	14,1	1,0	1,6	10,3	2,4	2,4	0,1	0,1	0,1	0,1	26,5	IIIa	0,54	
46	15,8	5,7	32,2	17,7	15,3	6,8	4,4	14,4	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	20,3	Vllo	0,59	
47	14,8	5,7	30,1	18,4	17,3	8,2	0,1	3,6	0,4	0,8	0,3	0,7	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	32,2	IIIa	0,51	
48	8,1	2,1	20,1	14,1	16,8	9,6	0,2	11,1	5,2	2,6	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	30,1	Vllo	0,51	
49	0,1	1,8	2,4	8,9	6,0	4,5	7,6	16,2	1,8	0,2	1,3	0,6	15,3	5,2	8,0	0,2	0,2	20,1	Vllo	0,59	
50	1,9	0,8	13,5	3,7	6,8	0,4	0,4	2,4	0,4	0,4	3,5	0,7	21,0	1,7	3,5	2,2	0,2	16,2	IVu	0,73	
51	1,9	1,8	7,1	6,4	10,6	7,0	7,3	18,4	2,9	0,9	3,1	2,4	18,2	1,5	10,4	2,2	0,2	30,0	IVu	0,59	
52	2,6	2,3	6,8	7,4	5,3	1,8	11,0	14,5	0,5	0,9	0,0	15,8	1,6	27,3	2,2	0,2	18,4	Vllo	0,66		
53	0,1	0,5	1,6	4,9	11,5	10,0	6,1	17,9	10,3	9,8	13,8	6,0	6,0	7,7	7,7	7,7	0,2	27,3	Vllo	0,60	
54	0,3	3,2	2,6	5,6	9,6	11,7	13,0	4,2	0,5	3,0	1,3	9,7	12,3	2,8	5,6	0,2	14,9	Vllo	0,63		
55	0,4	0,3	0,3	3,3	2,2	6,1	3,2	12,2	1,4	0,1	3,8	0,4	19,6	12,9	13,8	5,6	0,2	19,6	Vllo	0,68	
56	0,0	0,0	0,3	0,6	1,3	0,8	1,9	8,3	17,7	0,8	1,9	0,4	19,5	9,3	18,3	9,7	0,2	19,5	Vllo	0,64	
57	0,0	0,0	0,3	0,8	1,1	1,4	3,7	8,6	2,3	0,5	3,3	1,0	26,1	10,7	24,1	11,7	0,2	26,1	Vllo	0,60	
58	0,3	0,3	0,2	10,6	1,9	0,2	10,6	0,3	7,9	7,1	11,9	15,1	10,2	14,3	6,5	6,5	13,8	15,1	Vld	0,67	
59																					

G Percentielen van de cumulatieve frequentieverdelingen

Tabel G.1

Percentielen van de kansverdelingen van GHG's en GLG's. Beschrijving van de strata: zie Tabel 3.1

stratum	GHG					GLG				
	p05	p25	p50	p75	p95	p05	p25	p50	p75	p95
1	38	62	77	94	127	63	105	133	158	195
2	46	69	84	105	141	81	114	141	164	196
3	-15	2	20	41	66	19	41	57	84	115
4	-29	-5	12	32	54	6	42	61	79	105
5	-12	10	29	47	65	33	56	72	90	112
6	-29	-12	3	20	104	34	50	64	87	140
7	-21	9	26	41	70	40	65	88	102	133
8	-7	14	30	46	80	49	78	99	122	156
9	18	34	48	62	82	51	75	89	105	127
10	-7	22	43	63	90	44	71	95	117	154
11	15	28	40	59	87	52	69	97	125	158
12	19	34	51	69	95	55	75	101	133	190
13	3	25	41	58	82	56	78	104	127	159
14	1	20	32	47	75	58	83	98	113	146
15	25	45	59	69	88	73	90	105	121	143
16	3	40	56	81	111	41	81	114	149	216
17	8	42	61	75	106	68	96	116	148	241
18	18	44	56	69	95	83	117	132	147	173
19	3	27	50	72	107	53	90	116	158	186
20	12	51	76	98	129	60	109	138	168	220
21	26	58	83	110	141	84	120	152	186	218
22	-9	3	21	58	86	70	95	123	159	202
23	27	52	68	86	99	65	92	121	143	171
24	-5	9	26	53	146	41	66	87	119	177
25	19	39	60	85	137	90	113	129	144	170
26	10	45	69	88	143	62	105	135	161	213
27	-4	12	22	35	59	34	50	61	72	112
28	-1	14	27	40	63	34	53	66	78	100
29	-11	10	27	47	87	46	73	98	119	151
30	-7	11	26	42	85	53	79	96	121	168
31	-4	16	33	52	93	72	93	114	137	178
32	-6	10	29	48	82	79	97	114	144	183
33	-7	15	32	53	86	60	86	105	128	167
34	-7	11	27	47	76	56	84	106	134	170
35	19	49	68	89	109	24	90	121	154	189
36	-1	23	41	58	105	74	101	122	146	178
37	-3	17	35	54	89	83	110	129	150	184
38	5	27	44	63	104	78	111	137	169	215
39	-2	22	41	65	137	72	108	135	162	202
40	15	38	55	74	116	99	139	160	183	221
41	44	82	104	137	183	111	142	170	200	241
42	-9	4	23	36	75	37	65	84	100	136
43	-14	8	21	36	68	39	66	83	106	138
44	33	63	83	96	110	73	102	129	155	190
45	-9	5	18	32	51	27	47	69	89	115
46	-7	8	32	46	77	39	65	82	105	145
47	-13	6	18	31	54	17	51	66	82	112
48	-12	8	20	32	56	26	52	68	85	113
49	-14	9	24	43	64	39	66	84	112	146
50	3	36	60	79	94	54	83	107	134	197
51	-8	19	46	61	81	56	82	105	126	179
52	-1	26	50	74	96	55	88	112	136	179
53	5	48	74	92	113	45	86	117	145	178
54	3	26	42	73	112	74	98	118	148	190
55	8	29	51	82	97	52	95	115	139	204
56	24	45	68	83	101	80	110	137	177	212
57	25	58	73	88	110	87	112	137	173	218
58	17	57	76	92	124	91	129	154	183	227
59	7	29	73	90	198	97	129	162	194	239