

Reconstructie van historische grondwaterstandskarakteristieken met
grondwaterstanden gemeten in de periode 1952-1955

Reconstructie van historische grondwaterstandskarakteristieken met grondwaterstanden gemeten in de periode 1952-1955

P.C. Jansen

M. Knotters

D.J. Brus

J.B.F. van der Horst

Alterra-rapport 614

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2003

REFERAAT

Jansen, P.C., M. Knotters, D.J. Brus & J.B.F. van der Horst, 2003. *Reconstructie van historische grondwaterstandskarakteristieken met grondwaterstanden gemeten in de periode 1952-1955*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 614. 47 blz. 14 fig.; 6 tab.; 16 ref.; 1 CD met bijlagen

In de periode 1952-1955 is onderzoek uitgevoerd naar de landbouwwaterhuishouding in Nederland, waarbij op een zeer groot aantal locaties op min of meer vaste dagen de grondwaterstand is gemeten. Deze metingen geven een goed beeld van de waterhuishouding in de periode voorafgaande aan de grootschalige waterhuishoudkundige ingrepen in het landschap. Voor anti-verdrogingsplannen is het belangrijk om over een dergelijk historisch referentiebeeld te beschikken.

Dit rapport beschrijft welke van de analoog opgeslagen meetgegevens zijn gedigitaliseerd en hoe een koppeling is gelegd tussen de grondwaterstandsreeksen en de locaties zoals weergegeven op de oorspronkelijke veldkaarten. De halfmaandelijke grondwaterstandsmetingen gedurende de vier jaar zijn verlengd met een transfer-ruismodel tot een 30-jarige reeks, waaruit klimaatsrepresentatieve grondwaterstandskarakteristieken (GHG en GLG) zijn berekend. Voor de punten met slechts één meting per kwartaal zijn de GHG en GLG voorspeld door middel van lineaire regressie met als respons-variabele de grondwaterstand in de buis met kwartaalmetingen en als verklarende variabele de grondwaterstand op dezelfde dag gemeten in een buis met halfmaandelijke metingen. Beide methoden zijn toegepast in een proefgebied in het westen van Noord-Brabant. Vervolgens zijn de voorspelde GHG en GLG op de punten geïnterpoleerd naar een fijnmazig grid door middel van kriging, waarbij de trend is beschreven met een regressiemodel met als verklarende variabelen de relatieve en absolute maaiveldshoogte, de grondwatertrap op de Bodemkaart van Nederland 1:50 000, en een historische kwelindicator afgeleid van de bodemeenheden.

Op de bijgevoede CD staan de gedigitaliseerde versies van de oorspronkelijke COLN-kaarten en een access-bestand met de gedigitaliseerde grondwaterstanden.

Trefwoorden: grondwaterstand, waterhuishouding, grondwaterdynamiek, verdroging, historische referentie, tijdreeksanalyse, transfer-ruis model, kriging.

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €13,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 614. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2003 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

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	11
1.1 Achtergrond	11
1.2 Probleemstelling	13
1.3 Doel	13
1.4 Opbouw	14
2 Het COLN-archief	15
2.1 Beschrijving van het archiefmateriaal	15
2.2 Opzet van de digitalisatie	16
2.3 Buislocaties	21
2.4 Reeksen met een halfmaandelijke meetfrequentie	21
2.5 Kwartaalreeksen	24
2.6 Verwerking van de gegevens	26
3 Het digitale COLN-archief	29
3.1 Het databestand	29
4 Reconstructie van de grondwaterstandskarakteristieken GHG en GLG	33
4.1 Het proefgebied	33
4.2 Voorspellen van de GHG en GLG voor meetpunten	34
4.3 Patronen in de grondwaterdynamiek	36
5 Aanbevelingen en conclusies	43
Literatuur	45
Bijlagen (op CD)	47

Woord vooraf

Voor het signaleren van verdroging of voor het vaststellen van het optimale grondwaterregime voor de natuur is het belangrijk om over een goede historische referentie van de waterhuishouding te beschikken. Al geruime tijd was er de wens om hiervoor de grondwaterstandsgegevens uit de COLN-periode (1952-1955) te gebruiken. De analoge vorm waarin de grote hoeveelheid gegevens zijn opgeslagen maakte dat het lange tijd bij een wens bleef. Op instigatie van Guus Beugelink (RIVM), Peter Finke (Alterra) en Paul Hinssen (Natuurplanbureau) is in 2001 een begonnen met het digitaliseren van duizenden meetlocaties en tienduizenden grondwaterstanden. Het streven was om bij de afronding van de digitalisatie in 2002 in ieder geval de gegevens voor pleistoceen Nederland in een databestand te hebben ingevoerd, en dat er een systematiek zou liggen om de grondwaterdynamiek (GHG en GLG) in de COLN-periode te beschrijven. Op de gegevens van enkele gemeentes na die niet te vinden waren is aan dit streven voldaan.

Een groot aantal mensen was bij de digitalisatie van de gegevens betrokken. Het archief bevond zich bij NITG-TNO, dat tot 2003 nog in Delft gehuisvest was. Van het NITG-TNO coördineerde Slavek Vasak de werkzaamheden in Delft. Gerard van Mameren trad op als archivaris en Ruud van der Voorde, die zelf nog aan het COLN-onderzoek heeft meegewerkt, kon waardevolle uitleg geven over het gearhiveerde materiaal. De daadwerkelijke digitalisatie van waterstanden is uitgevoerd door Henk Vroon en Gert Stoffelsen, beiden van Alterra, en door verschillende externe krachten. Co Onderstal, Gert van Dorland en Herman Gijsbertsen van Alterra hebben ervoor gezorgd dat de meetlocaties van juiste coördinaten zijn voorzien.

Het project is gefinancierd door LNV middels het DWK-programma Basis- en kerngegevens bovengrond, en het RIVM. Eerder heeft het RIVM opdracht aan Alterra gegeven om de kaarten van de zomer- en wintergrondwaterstand uit het COLN-rapport te digitaliseren. Ook deze kaarten maken onderdeel uit van dit rapport.

Samenvatting

Het COLN-archief bevat de basisgegevens die aan in de periode 1952-1955 zijn verzameld om de toestand van de landbouwwaterhuishouding in Nederland in beeld te brengen. Het onderzoek, dat bekend is geraakt onder de naam COLN (Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland) was het eerste onderzoek waar, in een relatief korte periode, in het overgrote deel van Nederland op een zeer groot aantal locaties grondwaterstanden zijn gemeten. De periode ging vooraf aan de ruilverkavelingen van de jaren zestig en zeventig waarin de ontwatering sterk is veranderd en de onttrekking van grondwater sterk is toegenomen. Daarom wordt die periode vaak als referentieperiode genomen bij het maken van anti-verdrogingsplannen.

Een belangrijk resultaat van het COLN-onderzoek zijn grondwaterstandskarten van de winter- en zomersituatie. Deze karten zijn in dit onderzoek gedigitaliseerd waardoor een vergelijking met andere karten mogelijk is. De nauwkeurigheid van deze karten is onbekend. In dit onderzoek zijn met moderne statistische methoden voor tijdreeksanalyse en ruimtelijke interpolatie voor een proefgebied nieuwe karten gemaakt. Hiervoor zijn de meetgegevens eerst gedigitaliseerd.

Van het COLN-archief bestaan 2 versies. Eén archief is opgeslagen bij Alterra in Wageningen, de andere bij NITG-TNO in Utrecht. Het Utrechtse archief is in dit onderzoek gedigitaliseerd. De lijsten met standen zijn op excelformulieren overgenomen, waarna er een reeks controles heeft plaatsgevonden. De coördinaten van de meetlocaties, meestal grondwaterbuizen of brandputten, zijn overgenomen van de karten waarop ze zijn aangegeven. De topografische ondergrond van de karten is gebruikt om de opgetreden vervormingen te corrigeren. Als laatste zijn het standenbestand en het locatiebestand met elkaar gekoppeld. Van een aantal plekken kon geen locatie worden gevonden.

Het gekoppelde bestand met standen en locaties is opgenomen in een databestand. Daarin is het grootste gedeelte van de meetpunten opgenomen die in hoog (pleistoceen) Nederland liggen en een klein gedeelte van de lage delen van Friesland. Van hoog-Nederland ontbreken de gebieden die grondwateronafhankelijk zijn, en enkele gemeentes waarvan de gegevens zoek waren.

De eerste stap in de herkartering is de berekening (voorspelling) van de klimaatsrepresentatieve GHG en GLG op de locaties met grondwaterstandsmetingen. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen locaties met twee grondwaterstandsmetingen per maand (stambuizen) en locaties met één meting per kwartaal (peilbuizen). Voor de stambuizen is de klimaatsrepresentatieve GHG en GLG voorspeld met een transfer-ruismodel, waarin de netto neerslag als hulpvariabele wordt gebruikt. Met deze modellen is een 30-jarige reeks van grondwaterstanden gesimuleerd, waaruit de klimaatsrepresentatieve GHG en GLG

kan worden berekend. Voor de peilbuizen is de klimaatsrepresentatieve GHG en GLG voorspeld met een enkelvoudig lineair regressiemodel voor de grondwaterstand in een peilbuis, met als verklarende variabele de grondwaterstand in een stambuis gemeten op dezelfde dag. Wanneer de twee grondwaterstandreeksen goed correleren is de aangepaste lijn gebruikt om op basis van de (met het transfer-ruismodel voorspelde) GXG van de stambuis de GXG van de peilbuis te voorspellen. De geschatte GHG en GLG voor de buizen zijn vervolgens geïnterpoleerd naar een fijnmazig grid door middel van kriging, waarbij de trend is beschreven met een regressiemodel met als verklarende variabelen de absolute en relatieve maaiveldshoogte, de grondwatertrap volgens de Bodemkaart van Nederland 1:50 000, en de historische kwelindicatie afgeleid van de bodemeenheden.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In de afgelopen decennia hebben de grond- en oppervlaktewaterhuishouding aanzienlijke veranderingen ondergaan. Tussen het einde van de jaren vijftig van de vorige eeuw en het midden van de jaren zeventig zijn op grote schaal de ontwatering en afwatering verbeterd. Deze ingrepen waren vooral gericht op een verhoging van de landbouwproductie. Tegelijkertijd hebben ze geleid tot een aanzienlijke daling van de grondwaterstand. Maar ook de toename van grondwateronttrekkingen, uitbreiding van verhard oppervlak, bebossing, zandwinning, ed. hebben aan de daling van de grondwaterstand bijgedragen. Beugeling et al. (1995) schat dat 60% van de grondwaterstands­daling het gevolg is van landbouwkundige maatregelen en 30% van grondwateronttrekkingen.

Het anti-verdrogingsbeleid richt zich op een vernatting van het areaal verdroogde natuur (VROM, 1997). Daarvoor moeten de provincies c.q. waterschappen het gewenste grond- en oppervlaktewaterregime (GGOR) vaststellen (V&W, 1998). Bij alle plannen die daar het gevolg van zijn bestaat er behoefte aan een historische referentie van de waterhuishouding. Meestal zijn onvoldoende gegevens beschikbaar om de vroegere waterhuishouding te reconstrueren. De kwaliteit van de gegevens laat vaak te wensen over, of de gegevens hebben betrekking op slechts een beperkt deel van het onderzoeksgebied. Indirect kan uit bodemkenmerken wel een gebiedsdekkend referentiebeeld worden afgeleid (van Eck et al., 1997; Jansen et al., 1999), maar het verdient de voorkeur het referentiebeeld te reconstrueren met historische grondwaterstandsmetingen. Een probleem hierbij is dat deze gegevens alleen in analoge vorm beschikbaar zijn, als handgeschreven of getypte lijsten.

Sinds 1948 wordt de grondwaterstand systematisch waargenomen, met als het doel het maken van een grondwaterstandskaart van Nederland (Krul, 1952). Visser (1952) beschrijft hoe de waterhuishoudige kartering ten dienste van de landbouw werd aangepakt, en Hooghoudt (1952) gaat in op het waarnemen van grondwaterstanden in grondwaterstands­buizen. De extreme droogte tijdens de zomer van 1947 en de gevolgen hiervan op de voedselproductie onderstreepte de noodzaak van gedetailleerde informatie over de grondwaterstand. De Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland-TNO (COLN-TNO) startte daartoe een uitgebreide inventarisatie (Visser, 1958). Er is in het landbouwgebied een grondwatermeetnet met één peilbuis per km² ingericht, waarin in de periode 1952-1955 eenmaal per kwartaal¹ de grondwaterstand werd waargenomen. Daarnaast bestond het meetnet uit buizen die halfmaandelijks, op of rond de 14^e en 28^e, werden waargenomen. De grondwaterstands­buizen zijn gewaterpast, zodat de hoogte ten opzichte van NAP bekend is. Iedere provincie had een eigen 'COLN-ingenieur' die

¹ De metingen vonden op of rond vastgestelde datums plaats: 28 april, 28 augustus, 14 oktober en 14 december. De periodes tussen de metingen waren dus niet aan elkaar gelijk.

verantwoordelijk was voor de uitvoering van het onderzoek en de rapportage van de resultaten. Naast een algemeen rapport (Visser, 1958) zijn er van iedere provincie deelrapporten verschenen met daarbij kaarten van de zomer- en wintergrondwaterstand en een verdrogingskaart op schaal 1 : 200 000 (zie literatuurlijst onder COLN). De kaarten met winter- en zomergrondwaterstanden zijn gedigitaliseerd. Ze staan als shape-file en jpg-figuur bijlagen 1 en 2 op de CD².

De deelrapporten maken de lezer deelgenoot van de problemen die de organisatie van het grootschalige project met zich meebrachten:

‘Dankzij de ijver en plichtsbetrachting van de ambtenaren van de Provinciale Voedselcommissaris en vooral het organisatievermogen, gepaard aan een zeer goede plaatselijke kennis van het terrein, werd het mogelijk, de opnamen binnen de bepaalde tijdslimiet van 3 à 4 dagen te verrichten. Het werk werd op de fiets afgedaan; slechts een paar bureauhouders beschikten over een bromfiets en één enkele over een auto. Bedenkt men hoe vooral gedurende de winterdag deze opnamen vaak een moeizaam werk zijn geweest, dan is een woord van erkentelijkheid hier wel zeer op zijn plaats.’

Uit: deelrapport Gelderland.

De COLN-periode ligt vóór de periode waarin in grote delen van Nederland de landbouwwaterhuishouding ingrijpend is gewijzigd. Daardoor is die periode bijzonder geschikt om als historische referentie voor de grondwaterstand te dienen. De COLN-kaarten zelf zijn daar om verschillende redenen minder geschikt voor:

- bij het berekenen van de grondwaterstandskarakteristieken is geen rekening gehouden met de weersomstandigheden. Voor de kaart met zomergrondwaterstanden zijn de 3 laagste kwartaal-waarnemingen van ieder meetpunt gemiddeld en voor de kaart met wintergrondwaterstanden de 3 hoogste metingen. Lang niet altijd was een complete reeks beschikbaar en soms zijn bewust extreme standen weggelaten;
- de interpolatie tussen de meetpunten is handmatig uitgevoerd. Als hulpmiddelen zijn hoogtepuntenkaarten, de NeBo- bodemkaart en luchtfoto's gebruikt;
- de klasse-indeling waarop de gegevens zijn gepresenteerd is erg grof (0-20, 20-40, 40-70, 70-100, 100-140, 140-200, >200 cm);
- de natuurgebieden zijn buiten beschouwing gelaten.

Voor de reconstructie is het beter om rechtstreeks gebruik te maken van de basisgegevens (grondwaterstanden) die aan de COLN-kaarten ten grondslag liggen. Door nieuwe, statistische methoden voor tijdreeksanalyse en ruimtelijke interpolatie te gebruiken kan aan de bovengenoemde bezwaren grotendeels tegemoet worden gekomen. Alleen de extrapolatie van waterstanden naar natuurgebieden vereist extra aandacht. Overigens waren veel van de huidige natuurgebieden toendertijd nog als landbouwgebied in gebruik en waren ze gewoon bij het onderzoek betrokken.

Het COLN-archief bevat grondwaterstandsmetingen van stam- en peilbuizen van 1952-1970, maar alleen in de periode 1952-1955 is in alle grondwaterafhankelijke landbouwgebieden intensief gemeten. Uit de verslaglegging van het COLN-

² De kaarten zijn eerder in opdracht van het RIVM door Alterra gedigitaliseerd. De vervormingen op de gedrukte kaarten zijn gecorrigeerd aan de hand van kenmerkende punten op de topografische ondergrond. Zomer- en winterkaart zijn onafhankelijk van elkaar gedigitaliseerd waardoor verschillen in begrenzing van gelijkvormige vlakken kunnen optreden.

onderzoek (Visser, 1958) blijkt dat er 20750 peilbuizen 4x per jaar zijn opgenomen, 2500 stambuizen 2x per maand en 69 KNMI buizen dagelijks. De hoeveelheid meetgegevens van stam- en peilbuizen uit de periode 1952-1955 bedraagt bijna 550 000.

1.2 Probleemstelling

Voor de reconstructie van de grondwaterdynamiek is het noodzakelijk dat de COLN-gegevens digitaal beschikbaar zijn. De gegevens van een deel van de (stam-)buizen is al wel opgenomen in het grondwaterdatabestand OLGA van NITG-TNO omdat die buizen ook na de COLN-periode zijn waargenomen. Het overgrote gedeelte van gegevens is echter alleen op papier aanwezig dat ligt opgeslagen in archieven van NITG-TNO in Utrecht en bij Alterra in Wageningen. Van beide archieven is op voorhand niet duidelijk of ze compleet zijn. Wel is duidelijk dat er verschillen zijn in de wijze waarop de gegevens zijn genoteerd. Naast de vraag welk archief het meest geschikt is voor de digitalisatie, vraagt de digitalisatie zelf de nodige aandacht, zowel op logistiek gebied als op de controle en de opslag van de ingevoerde data.

Een heel andere vraag is hoe met de gedigitaliseerde gegevens de waterhuishouding in de COLN-periode het beste gereconstrueerd kan worden. In alle gevallen gaat het om tijdreeksen die te kort zijn om rechtstreeks de GHG en GLG te bepalen. Een tweede probleem is dat in het overgrote deel van de buizen de grondwaterstand slechts één keer per kwartaal is gemeten. Voor een gebiedsdekkende reconstructie rijst de vraag hoe de puntgegevens (GHG en GLG voor de buizen) het beste ruimtelijk geïnterpoleerd kunnen worden. Met name is de vraag van belang welke hulpvariabelen hierbij eventueel gebruikt kunnen worden. Is de (absolute en relatieve) maaiveldshoogte een geschikte hulpvariabele, en hoe kan deze het beste bepaald worden, met het Actuele Hoogtebestand van Nederland (AHN) of met de hoogtepuntenkaart 1:10 000? Het AHN is gebaseerd op actuele hoogtemetingen door middel van laserscan-altimetrie met een zeer grote dichtheid, terwijl de maaiveldshoogtes weergegeven op de hoogtepuntenkaart bepaald zijn door middel van relatief nauwkeurige waterpassingen. De dichtheid van deze waterpasmetingen is veel lager, maar daar staat tegenover dat het tijdstip van de metingen beter overeenkomt met de COLN-periode.

1.3 Doel

De belangrijkste doelstelling van het project is het digitaliseren van de gemeten grondwaterstanden en de meetlocaties, te beginnen in hoog-Nederland waar pleistocene afzettingen aan de oppervlakte komen. In dit deel van Nederland zijn de grootste veranderingen in de waterhuishouding opgetreden en bestaat de grootste behoefte aan een objectief referentiebeeld.

Een tweede doel van dit onderzoek is de ontwikkeling van een methode (set van methoden) waarmee de grondwaterdynamiek (GHG en GLG) ten tijde van de COLN-periode kan worden gereconstrueerd, en wel zodanig dat de resultaten vergeleken kunnen worden met actuele gegevens over de grondwaterdynamiek.

1.4 Opbouw

In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van het COLN-archief en van de wijze waarop de gegevens zijn gedigitaliseerd. Ook wordt aangegeven welke controles er op het gedigitaliseerde materiaal zijn uitgevoerd en hoe de koppeling tussen grondwaterstanden en meetlocaties tot stand is gekomen.

Hoofdstuk 3 geeft een toelichting bij de gedigitaliseerde gegevens. Hoofdstuk 4 beschrijft hoe met de gedigitaliseerde gegevens voor een deel van de provincie Noord-Brabant de grondwaterdynamiek is gereconstrueerd. Enkele conclusies en aanbevelingen staan in hoofdstuk 5.

2 Het COLN-archief

2.1 Beschrijving van het archiefmateriaal

Het COLN-archief bestaat uit grondwaterstandsmetingen, kaarten met locaties van grondwaterstandsbuizen, informatie over gewasopbrengsten en droogteschade en veldkaarten met gegevens over grondwaterstanden en droogtegevoeligheid. Voor de reconstructie van de historische grondwaterdynamiek zijn de grondwaterstandsmetingen en de kaarten met locaties van grondwaterstandsbuizen van belang.

De gegevens die in de COLN-periode zijn verzameld liggen opgeslagen in archieven van NITG-TNO in Utrecht³ en Alterra in Wageningen. In Utrecht zijn de grondwaterstandsgegevens vrijwel compleet aanwezig. De standen zijn per gemeente opgeslagen. De gegevens zijn uitgetypt en de kaarten met buislocaties die in Utrecht worden bewaard zijn geplakt op hardboard. Enkele kaarten ontbreken. In Utrecht zijn ook ordners aanwezig met de omnummering van buiscodes die gehanteerd werden tijdens het COLN-onderzoek naar codes die worden gebruikt in het grondwaterdatabestand (DINO) van NITG-TNO. De bijbehorende grondwaterstanden zijn in het verleden al in DINO ingevoerd en hoeven dus niet meer te worden gedigitaliseerd.

De grondwaterstanden die in Wageningen worden bewaard zijn met kroontjespen op calqueerpapieren formulieren geschreven. De grondwaterstanden van een deel van de provincies Groningen en Friesland ontbreken in het wageningse archief. De kaarten met locaties van grondwaterstandsbuizen die in Wageningen worden bewaard zijn niet geheel compleet en niet altijd uniform, waardoor de aansluiting met de grondwaterstandswaarnemingen niet altijd duidelijk is. Naast gegevens over grondwaterstanden wordt in Wageningen materiaal bewaard dat ten grondslag heeft gelegen aan de isocarpendiagrammen (opbrengst-ontwateringsdieptecurven) en de verdrogingskaarten. Voor de provincies Friesland, Utrecht, Noord-Holland, Zuid-Holland en Noord-Brabant is dit basismateriaal aanwezig.

Omdat het archief in Utrecht het meest compleet is, is voor dat archief gekozen voor de digitalisatie van de grondwatergegevens. Samengevat zijn de archiefgegevens die van belang zijn voor het digitalisatieproject:

³ Bij de aanvang van het onderzoek bevond het archief zich nog in Delft. Eind 2002 is NITG-TNO naar Utrecht verhuisd.

1. lijsten van COLN-buizen die onder een nieuwe code in het grondwaterdatabestand van NITG-TNO zijn opgenomen;
2. kaartbladen met locaties van meetplekken;
3. formulieren waarop per buis halfmaandelijks waargenomen freatische grondwaterstanden vermeld staan;
4. formulieren waarop voor meerdere buizen kwartaalwaarnemingen van freatische grondwaterstanden vermeld staan.

Ad 1: Een gedeelte van de meetreeksen die tijdens de COLN-periode zijn verzameld, zijn bij NITG-TNO in het databestand DINO (voorheen OLGA) opgenomen. Vaak gaat het om meetplekken waar halfmaandelijks werd waargenomen en waar de waarnemingen ook na de COLN-periode werden voortgezet. De meetgegevens van deze buizen zijn weliswaar digitaal beschikbaar, maar ze zijn onder een nieuwe code opgeslagen. Daarom is eerst een totaaloverzicht gemaakt van oude en nieuwe codes waaruit kan worden afgelezen welke buizen met een COLN-code kunnen worden overgeslagen bij de digitalisatie van grondwaterstanden. In het totaal gaat het om ruim 5800 buizen waarvan de standen al digitaal beschikbaar zijn in het DINO-databestand. Bij een aantal buizen ontbreken essentiële gegevens waardoor ze niet bruikbaar zijn. De omnummeringslijst is overgetypt en staat als bijlage 3 op de CD.

Ad 2: Een aantal kaartbladen met buislocaties ontbreekt in het Utrechtse archief. Deze bleken nog wel in Wageningen aanwezig te zijn zodat toch over een landsdekkend overzicht beschikt kan worden.

Ad 3 en 4: De buizen die half-maandelijks zijn waargenomen worden ook wel aangeduid als stambuis en de buizen waar 4 metingen per jaar zijn verricht staan ook bekend als peilbuis. Op basis van de COLN-rapporten en het COLN-archief bij Alterra is een eerste schatting gemaakt van het aantal stam- en peilbuizen en grondwaterstanden die voor het onderzoek in aanmerking komen. Tabel 2.1 laat zien dat het om ruim 23 000 buizen en mogelijk 500 000 gemeten standen gaat. Een steekproef die in het noordoosten van de provincie Friesland is uitgevoerd bevestigt deze aantallen.

Tabel 2.1 Hoeveelheid COLN-buizen per provincie (gemiddeld over de periode 1952-1955)

	gr	fr	dr	ov	gl	ut	nh	zh	zl	nb	li	Totaal
peilbuizen 4 x per jaar	1000	2500	1780	2900	3263	900	1330	1600	958	4097	410	20738
stambuizen 24x per jaar	800	250	233	250	208	50	87	100	264	200	45	2487

2.2 Opzet van de digitalisatie

Vanwege de grote hoeveelheden identieke formulieren met te digitaliseren grondwaterstanden is allereerst nagegaan of scannen met tekstherkenning mogelijk zou zijn. Dat bleek niet te kunnen, enerzijds omdat de leesbaarheid van de vaak vet getypte cijfers op de formulieren te wensen overliet en anderzijds omdat er een groot aantal afwijkende toevoegingen en coderingen vermeld staan die een handmatige nabewerking nodig zou maken. Daarom is ervoor gekozen om de buisgegevens en de standen handmatig in de computer in te voeren. Verder is besloten om de standen en

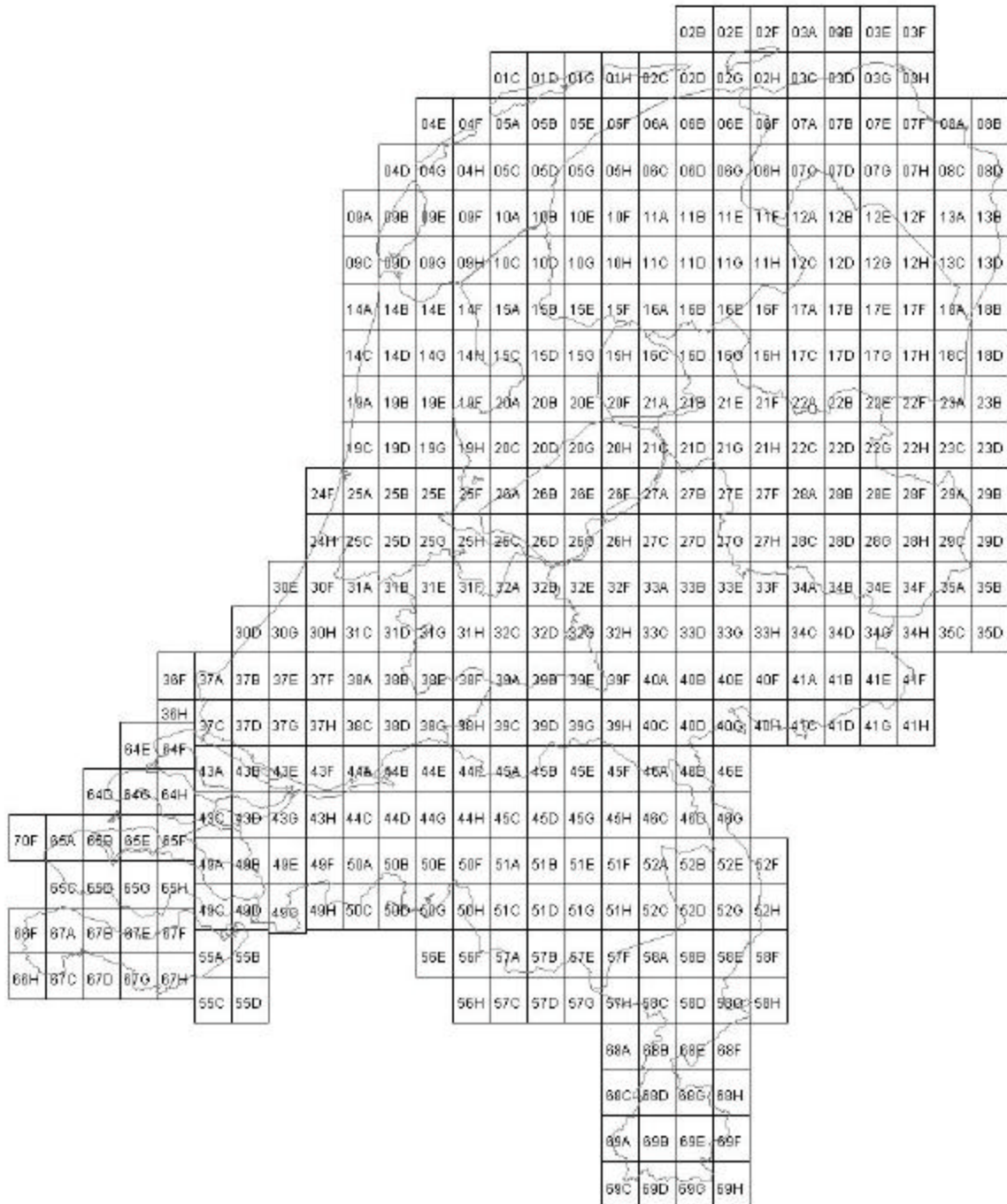
de locaties in aparte bestanden op te slaan omdat een directe koppeling erg tijdrovend en logistiek niet praktisch zou zijn. De controle van de gegevens en de koppeling van beide bestanden gebeurt in een later stadium.

In principe zijn de gebruikte coderingen voor de meetbuizen per provincie uniek. Dat bleek echter niet altijd het geval te zijn. Ook is gebleken dat brandputten en andere meetbuizen dan de officiële COLN-buizen binnen één provincie geen unieke code hebben, bij voorbeeld 1-a, b1 of 1-3. Daarom wordt ook het kaartbladnummer gebruikt om een meetplek aan te duiden. De gemeentenaam voldoet niet, omdat de toenmalige gemeentegrenzen niet op de kaartbladen staan en ze ook niet digitaal beschikbaar zijn. Bovendien kunnen gemeentes op verschillende kaartbladen liggen die niet tot dezelfde indeling behoren. Tijdens het COLN-onderzoek zijn namelijk twee verschillende indelingen in kaartbladen gebruikt. In de oostelijke helft van Nederland is de 'oude' indeling gebruikt met kaartbladen die een oppervlakte hebben van 10 x 6,25 km. De nummering van de kaartbladen loopt van 8 (Rottumeroog) tot 778 (Vaals). De oude indeling staat in figuur 2.1. Voor de nieuwe indeling in het westelijke deel van Nederland zijn de kaartbladen schaal 1 : 25 000 gebruikt (figuur 2.2). Deze kaartbladen hebben een oppervlakte van 10 x 12,5 km. Een overlay van beide indelingen is als bijlage 4 op de CD opgenomen. Omdat de kaartbladen van de oude en nieuwe indeling niet op elkaar aansluiten en de noordprojectie afwijkt zijn de gegevens volgens de oorspronkelijke indelingen gedigitaliseerd en is het oorspronkelijke kaartbladnummer aan de gedigitaliseerde buislocatie toegevoegd. Voor de verdere bewerking maken de verschillen in projectie geen verschil omdat iedere meetplek via de X- en Y-coördinaat is vastgelegd.

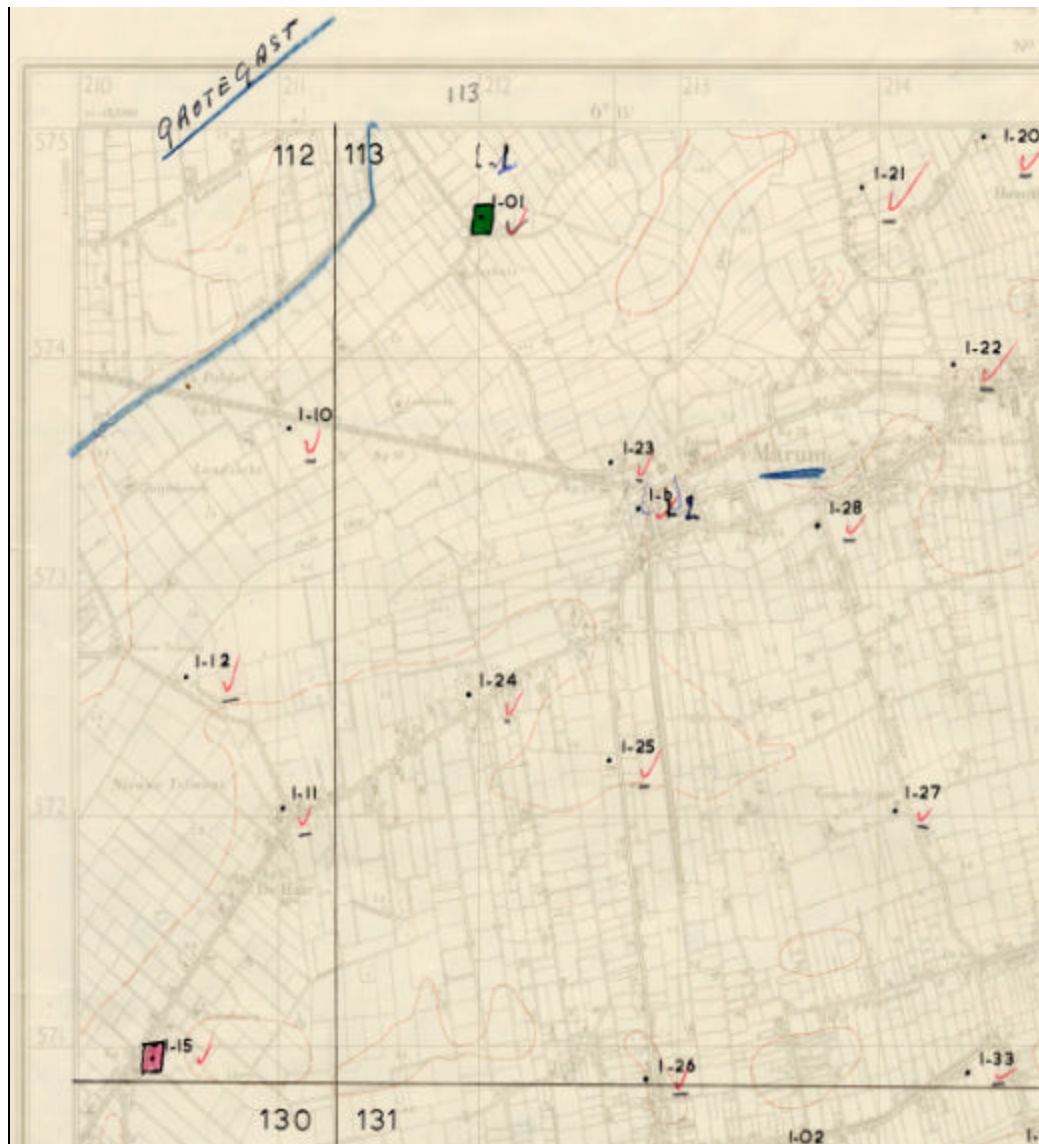
Bij de oude indeling is de Bonne-projectie gebruikt, die genoemd is naar de Franse cartograaf Rigobert Bonne (1729-1795). Bij deze projectiemethode wordt voor de afbeelding van het gebogen aardoppervlak op een plat vlak een centraal punt in het af te beelden gebied gekozen. Door dat punt wordt een centrale meridiaan en een centrale parallel getrokken. Van daaruit wordt het gebied opgedeeld. De indeling voor Nederland is gemaakt voor de onafhankelijkheid van België. Omdat het een relatief klein gebied is, is de vertekening aan de randen nog minimaal. Vlak voor de Tweede Wereldoorlog ging Nederland over op de stereografische projectie. Pas 20 jaar later werd deze projectie algemeen gebruikt. Bij de stereografische projectiemethode is voor Nederland de Onze-Lieve-Vrouwentoren in Amersfoort het centrale punt. Een belangrijke eigenschap van deze methode is dat op het aardoppervlak gemeten hoeken onvervormd worden afgebeeld.



Figuur 2.1 Oude topografische indeling volgens de 'Bonne-projectie'



Figuur 2.2 Nieuwe indeling topografische kaartbladen schaal 1 : 25 000 volgens de stereografische projectie



Figuur 2.3 Voorbeeld van een kaartblad met meetlocaties. Afgebeeld is een gebied bij Marum

2.3 Buislocaties

De kaartbladen waarop de buislocaties staan aangegeven zijn in de jaren vijftig op karton geplakt. Omdat de kartonnen ondergrond in veel gevallen is kromgetrokken zijn de kaartbladen ongeschikt om de gegevens er rechtstreeks van te digitaliseren. Daarom zijn de kaartbladen gekopieerd. Vervolgens is de vertekening van de topografische ondergrond, die het gevolg is van 'rek en krimp' van de kaartbladen en van het kopiëren, gecorrigeerd. Dat is gedaan aan de hand van de ligging van een aantal verspreid liggende karakteristieke punten van de topografische ondergrond te vergelijken met de werkelijke ligging. Vervolgens is van iedere plek het bladnummer, de buiscode en de coördinaten aangegeven. Ook is aangegeven of er een tweede code vermeld staat en of de buis verplaatst is. Op de kaart staat een verplaatsing aangegeven met een pijl naar de nieuwe plek. De nieuwe plek is dan op dezelfde wijze vastgelegd, maar met een toevoeging zodat bij de koppeling met grondwaterstanden in de juiste volgorde naar buislocaties kan worden gezocht.

Figuur 2.3 laat een voorbeeld van een gedeelte van een kaartblad zien. De buizen die voor dit onderzoek interessant zijn, staan aangegeven met een 1- en een cijfercode. De 1- staat voor landbouwbuis: een buis met een ondiep filter voor het meten van de freatische grondwaterstand. De lengte is meestal voldoende om ook de laagste grondwaterstanden te kunnen meten. Behalve in landbouwbuizen werd ook in veel peilbuizen en brandputten de freatische grondwaterstand gemeten. Deze zijn daarom ook gedigitaliseerd. De punten waarvan naar verwachting geen of ongeschikte grondwaterstandsmetingen beschikbaar zijn, zijn in eerste instantie niet gedigitaliseerd.

2.4 Reeksen met een halfmaandelijke meetfrequentie

Figuur 2.4 is een voorbeeld van een formulier voor een halfmaandelijke meetreeks. In de kop van de tabel staan de algemene gegevens. Het gaat daarbij om het kaartblad (1) en de code voor de meetplek (2). In de meeste gevallen betreft het een zogenaamde landbouwbuis met een ondiep filter, en soms diepere peilbuizen en brandputten. Verder bestaat de algemene informatie uit de provincie (2) en de gemeente (3) waarin de meetplek ligt. Van de buis zelf is meestal de buishoogte (4) en de maaiveldshoogte (5) ten opzichte van NAP bekend.

Van de feitelijke meting zijn voor ieder jaar de meetdatum (6), de grondwaterstand ten opzichte van het meetpunt (7) en ten opzichte van NAP (8) gegeven. Door middel van een code, meestal x, xxx of s, is aangegeven of een buis droog stond. Onderaan het formulier staan eventuele bijzonderheden, onder andere of de buis verplaatst of herplaatst is (9).

Om fouten bij het invoeren van de grondwaterstanden te voorkomen is een Excel-formulier ontworpen dat zo goed mogelijk overeenkomt met het oorspronkelijke formulier (figuur 2.5). De algemene informatie wordt op de eerste regel eenmalig ingetypt, waarna deze automatisch in de volgende regels verschijnt tot een regel wordt overgetypt. Daarna wordt het formulier met de nieuwe gegevens aangevuld. In

een extra kolom kan een eventuele extra buiscode worden ingevoerd. Soms zijn extra coderingen op het originele formulier toegevoegd die bijvoorbeeld op de nieuwe (of de oude) indeling in kaartbladen gebruikt is. Ook kan op deze plek een extra codering worden opgenomen waarvan de status niet duidelijk is.

ARCHIEF VAN GRONDWATERSTANDEN T.N.O.											
Kaartblad 112 Landbouwbuis 1-15						Folionummer 1					
Hoogte van het {						Provincie Groningen					
meestpunt 395 cm+N.A.P.						Gemeente Marum					
maaveld 410 cm+N.A.P.											
Toestand van het grondwater											
Filter of geperforeerd {											
gedachte {											
bovenkant cm N.A.P.											
onderkant cm N.A.P.											
Gegevens van de grondwaterstand in cm											
datum	-	+	datum	-	+	datum	-	+	datum	-	+
	meet-	N.A.P.		meet-	N.A.P.		meet-	N.A.P.		meet-	N.A.P.
	punt			punt			punt			punt	
1952			1953			1954			1955		
			14 I	144	251	14 I	154	241	06 I	135	262
			28 I	135	260				14 I	147	250
									02 II	104	()
			16 II	121	274	17 II	154	241	16 II	108	289
			28 II	127	268	03 III	161	234			
			14 III	144	251	14 III	142	253	23 III	133	264
			02 IV	150	245	28 III	143	252	28 III	128	269
			14 IV	129	266	14 IV	157	238	16 IV	152	245
			29 IV	158	237	28 IV	177	218	02 V	169	228
			14 V	172	223	18 V	187 ^a	208	14 V	182	215
			28 V	182	213	28 V	182 ^a	213	10 VI	148	249
			05 VI	195 ^a	200				14 VI	192	205
			14 VI	180	215	14 VI	182 ^a	213	14 VI	192	205
						28 VI	182 ^a	213	30 VI	198 ^a	199
			14 VII	192 ^a	203	14 VII	182 ^a	215	14 VII	xxx	—
			30 VII	195 ^a	200	28 VII	183 ^a	214	28 VII	xxx	—
			14 VIII	xxx	—	14 VIII	175	222	15 VIII	xxx	—
			28 VIII	xxx	—	28 VIII	166	231	28 VIII	xxx	—
			15 IX	192	203	14 IX	167	230	14 IX	xxx	—
			29 IX	187	208	28 IX	138	259	28 IX	xxx	—
14 X	174	221	14 X	187	208	14 X	122	275	14 X	xxx	—
			01 XI	195 ^a	200	29 X	120	277			
			14 XI	195 ^a	200	15 XI	109	288			
29 XI	131	264	28 XI	192	203	04 XII	118	279			
15 XII	142	253	14 XII	200 ^a	195	15 XII	123	274			
29 XII	110	285	30 XII	185	210						

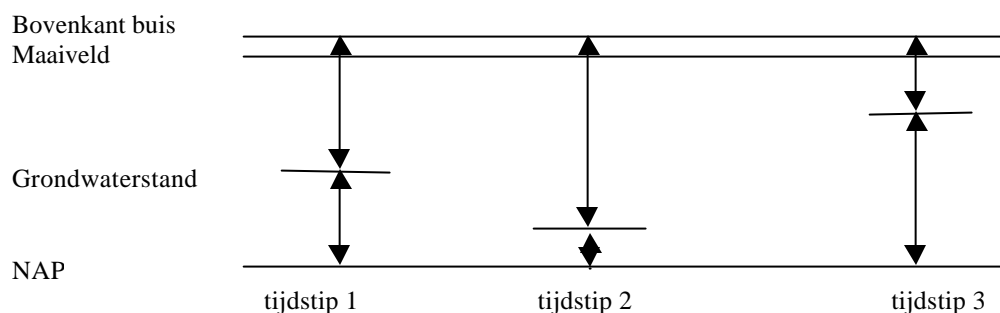
Bijzonderheden m.i.v. 14 VII 54 meetpunt 397 cm + N.A.P.
^a droog

Figuur 2.4 Voorbeeld van een formulier met halfmaandelijkse waarnemingen

Kaart blad	Buis	2e buiscode	meetpunt NAP	meetpunt maaiveld	Provincie (2 letters)	jaar	dag	maand	meetpunt	NAP
112	I-15		395	410	GR	1952	14	10	174	221
112	I-15	0	395	410	GR	1952	29	11	131	264
112	I-15	0	395	410	GR	1952	15	12	142	253
112	I-15	0	395	410	GR	1952	29	12	110	285
112	I-15	0	395	410	GR	1953	14	1	144	251
112	I-15	0	395	410	GR	1953	28	1	135	260
112	I-15	0	395	410	GR	1953	16	2	121	274
112	I-15	0	395	410	GR	1953	28	2	127	268
112	I-15	0	395	410	GR	1953				

Figuur 2.5 Voorbeeld van de invoer van meetreeksen met halfmaandelijke waarnemingen in een excel-formulier

Omdat de NAP-hoogte van de bovenkant van de buis en van het maaiveld bekend zijn, kan in principe worden volstaan met het invoeren van de waterstanden ten opzichte van de bovenkant van de buis of ten opzichte van NAP omdat de andere stand kan worden uitgerekend. Besloten is om beide standen in te voeren, zodat de invoer kan worden gecontroleerd. Bovendien komt het ook regelmatig voor dat de NAP-hoogte van de buis en/of het maaiveld niet bekend is. Na het invullen van een complete regel verschijnt een mededeling als een grondwaterstand meer dan een meter verschilt van de vorige waarneming en of de som van stand ten opzichte van NAP en de grondwaterstand ten opzichte van de bovenkant van de buis niet gelijk is aan de som van beide bij de vorige waarneming (zie figuur 2.6). De invoer wordt geblokkeerd als een onmogelijke datum wordt ingevoerd. Op deze wijze kunnen typefouten al tijdens de invoer worden gecorrigeerd. Verdere controles vinden in een later stadium plaats.



Figuur 2.6 Vergelijking van opeenvolgende sommen van grondwaterstand tov bovenkant buis en grondwaterstand tov NAP als controle van de invoer

2.5 Kwartaalreeksen

In figuur 2.7 staat een voorbeeld van een reeks met een kwartaalfrequentie. Op iedere pagina staan de waarnemingen van meerdere buizen. In de kop van de tabel staan de kaartbladen (kolom 1) waar de buizen voorkomen. Het aantal kaartbladen per pagina varieert van één tot meer dan vijf. Verder staat de provincie (2) en de gemeente (3) vermeld. In de tabelkop staan de vier datums (4) vermeld waarop de grondwaterstandmetingen in principe plaats dienden te vinden. In het voorbeeld van figuur 2.7 staan alleen metingen van april, augustus en oktober.

De variabele gegevens bestaan uit verschillende kaartbladnummers en buiscodes (5), het jaar (6) waarin de meting is verricht, en voor elk van de vier meetdatums de grondwaterstand ten opzichte van de bovenkant van de buis (7) en ten opzichte van NAP (8). In een aparte kolom is het niveau van de bovenkant van de buis ten opzichte van het maaiveld (9) gegeven. In de laatste kolom zijn eventuele bijzonderheden (10) vermeld. De waarnemingen zijn lang niet altijd verricht op de datums die in de kop van de tabel staan vermeld. Door middel van een of meer streepjes onder de waarneming is aangegeven of de waarneming één, twee of drie dagen eerder of later heeft plaatsgevonden. Grotere afwijkingen ten opzichte van de opgegeven meetdatum zijn door middel van een voetnoot aangegeven.

Het excelformulier dat voor kwartaalreeksen gebruikt is staat in figuur 2.8. Ook hier is voor een lay-out gekozen die overeenkomt met het originele formulier om fouten bij het invoeren te voorkomen. Als algemene informatie wordt het kaartblad, de provincie en de vier standaarddatums waarop de metingen plaatsvinden opgenomen. Deze informatie wordt op de eerste regel eenmalig ingetypt, waarna deze automatisch in de volgende regels verschijnt tot een regel wordt overgetypt. Daarna wordt het formulier met de nieuwe gegevens aangevuld. Ook het jaar wordt op deze manier behandeld omdat de meetbuizen per jaar zijn gegroepeerd. Vervolgens wordt de buiscode opgenomen. In een extra kolom kan een eventuele extra buiscode worden ingevoerd. Dit kan de code zijn die bijvoorbeeld bij de andere indeling in kaartbladen gebruikt is, of een extra codering met een onduidelijke status. Voor elk van de vier metingen is de afwijking van de meetdatum aangegeven met de positie van de streepjescode of is de afwijkende datum ingevoerd. Elk van deze kolommen wordt gevolgd door de grondwaterstand ten opzichte van het meetpunt en ten opzichte van NAP. Tenslotte volgt een kolom voor het niveau van de bovenkant van de meetbuis en een kolom voor eventuele bijzonderheden. Evenals bij de invoer van de halfmaandelijke meetreeksen wordt als een eerste controle op typefouten na het invullen van een regel aangegeven of de som van stand ten opzichte van NAP en meetpunt gelijk is aan de som van beide bij de vorige waarneming (figuur 2.6).

FOLIO		KAARTBLADEN		ARCHIEF VAN GROND- WATERSTANDEN T.N.O.				PROVINCIE Groningen		GEMEENTE Marum	
6		112 en 113									
NOVO PEIL- BUIS	JAAR	28 IV		28 VIII		14 X				Betal. mv. in cm	BUZONDERHEE
		cm		cm		cm		cm			
		bb	N.A.P.	bb	N.A.P.	bb	N.A.P.	bb	N.A.P.		
112/ 1-11	1955	070	188	<u>109</u>	149	111	147			-010	
1-12		—	—	<u>107</u>	109	079	137			+007	
1-13		145	325	<u>190</u> ^a	280	180	290			-005	
1-14		065	160	<u>102</u>	123	079	146			-011	
113/ 1-02		069	093	<u>147</u>	015	068	094			-015	
1-03		088	053	<u>145</u>	-004	092	049			-010	
1-04		084	017	<u>100</u> ^a	001	070	031			-007	
1-05		<u>042</u>	-073	<u>056</u>	-087	046	-077			-007	
1-06		055	-046	<u>070</u>	-061	052	-043			-014	
1-07		<u>111</u>	-016	<u>143</u>	-048	131	-036			-006	
1-16		<u>055</u>	267	<u>081</u>	241	154	168			-008	
1-17		<u>080</u>	083	<u>165</u>	-002	112	051			-008	
1-20		098	044	<u>132</u> ^a	010	102	040			-015	
1-21		076	032	<u>134</u>	-026	082	026			-010	
1-22		086	122	<u>144</u>	064	110	098			-009	
1-23		060	048	<u>062</u>	046	<u>054</u>	054			-010	
1-24		105	258	<u>180</u> ^a	183	<u>178</u>	185			-006	
1-25		075	144	<u>141</u>	078	098	121			-010	
1-26		071	392	<u>080</u>	383	093	370			+005	
1-27		125	369	<u>183</u> ^a	311	<u>178</u> ^a	316			-006	
1-28		085	214	<u>146</u> ^a	153	094	205			-008	
1-30		075		<u>110</u>		068				-008	
1-31		<u>075</u>	194	<u>116</u>	153	067	202			-009	
1-32		<u>040</u>	053	<u>092</u>	001	031	062			-013	
1-33		075	379	<u>118</u>	336	092	362			-015	
1-34		<u>065</u>	348	<u>080</u>	333	050	363			-006	
1-35		<u>098</u>	363	<u>135</u>	326	102	359			-009	

M/M

^a droog

Figuur 2.7 Voorbeeld van een formulier met kwartaalwarneringen

Kaart	Prov.	dag	mnd	dag	mnd	dag	mnd	dag	mnd	jaar	buis	2e buis code	afw	bb	NAP	afw	bb	NAP	afw	bb	NAP	afw	bb	NAP	bb
blad	2 let.	1	2	3	4								1	2	3	4									mv
112	GR	28	4	28	8	14	10			1955	I-11		0	70	188	23	109	149	3	111	147				-10
112	GR	28	4	28	8	14	10	0	0	1955	I-12		0	9999	9999	23	107	109	3	79	137				7
112	GR	28	4	28	8	14	10	0	0	1955	I-13		0	145	325	23	1960s	280	3	180	290				-5
112	GR	28	4	28	8	14	10	0	0	1955	I-14		0	65	160	23	102	123	3	79	146				-11
113	GR	28	4	28	8	14	10	0	0	1955	I-02		0	69	93	3	147	15	0	68	94				-15
113	GR	28	4	28	8	14	10	0	0	1955	I-03		0	88	53	3	145	-4	0	92	49				-10
113	GR	28	4	28	8	14	10	0	0	1955	I-04		0	84	17	3	100s	1	0	70	31				-7
113	GR	28	4	28	8	14	10	0	0	1955	I-05		1	72	-73	3	56	-87	0	46	-77				-7
113	GR	28	4	28	8	14	10	0	0	1955															

Figuur 2.8 Voorbeeld van de invoer van kwartaalmetingen in een excel-formulier

2.6 Verwerking van de gegevens

Niet alleen tijdens de invoer, maar ook nadat de grondwaterstanden zijn ingevoerd zijn de meetreeksen op verschillende onderdelen gecontroleerd. Daarna is de koppeling met het locatiebestand gelegd, en zijn de gegevens in een databestand opgenomen. Voor de kwartaalreeksen en de frequenter waargenomen half-maandelijke reeksen zijn de volgende bewerkingen uitgevoerd:

1. Een visuele controle van de meldingen die tijdens de invoer van de data zijn geactiveerd en die toen niet meteen zijn verbeterd. Dat kan bijvoorbeeld gaan over het ontbreken van essentiële gegevens of een onwaarschijnlijke waterstand. Blijvende probleemgevallen zijn verwijderd, de rest is aangepast.
2. Het samenvoegen van invoerfiles tot grotere bestanden en het consistent maken van ontbrekende gegevens (x, xxx, -, droog). Hiervoor is de code 9999 gebruikt.
3. Alleen voor de kwartaalreeksen: het berekenen van de juiste datum, het sorteren op buisnummer en het onder elkaar opslaan volgens het format van de half-maandelijke meetreeksen.
4. Per buis de meetgegevens chronologisch rangschikken en dubbele gegevens verwijderen.
5. Van een aantal locaties ontbreekt de NAP-hoogte, maar waar dat wel bekend is, is gecontroleerd of het verschil tussen de grondwaterstand ten opzichte van de bovenkant van de meetbuis en de grondwaterstand ten opzichte van NAP minus de NAP-hoogte van de bovenkant van de buis gelijk aan elkaar zijn. Tijdens het invoeren van de gegevens is deze controle alleen uitgevoerd om fouten bij het overtypen te signaleren. De meldingen die zijn blijven staan hebben een andere oorzaak en die worden met deze bewerkingsstap opgelost. Veel fouten zijn in de jaren vijftig geïntroduceerd, waarschijnlijk omdat toen alleen nog handmatig gecontroleerd kon worden. Voorbeelden van dergelijke fouten zijn:
 - een verschil van meter
 - 67 in plaats van 76
 - 8 in plaats van 3
 - 1 in plaats van 7
 - standen boven in plaats van beneden NAP

- vergeten een volgend buisnummer te vermelden

Als het verschil tussen de grondwaterstand ten opzichte van de bovenkant van de buis en de grondwaterstand ten opzichte van NAP minus de NAP-hoogte van het maaiveld tijdelijk is, en bovendien minder dan 3 cm is, is dit verschil verrekend met de stand ten opzichte van NAP. Bij grotere en bij blijvende verschillen wordt aan de regel met het tijdstip waarop de verandering voor het eerst plaatsvond een wijzigingscodering (W) toegevoegd.

6. Verwijderen van extra voorvoegsels aan de buiscoderingen (l-, w-) omdat deze niet consequent zijn gebruikt.
7. Verwijderen van extra voorvoegsels uit het coördinatenbestand.

De meetreeksen zijn gekoppeld aan niet verplaatste buislocaties op basis van overeenkomst in bladnummer + eerste buiscode + provincie. Vervolgens is gezocht op basis van overeenkomst in bladnummer + tweede buiscode + provincie.

Daarna is ook gezocht naar verplaatste buizen. Als dat het geval is, en als er bij stap 5 een wijzigingscode is ingevoerd, dan wordt de W vervangen door een V, die aangeeft dat de buis verplaatst is. De latere waarnemingen krijgen dan ook een V. De overblijvende W's worden vervangen door een H (herplaatst) omdat er wel een andere NAP-hoogte geldt, maar de plek dezelfde is gebleven. Aangenomen is dat de buis dan op dezelfde plek herplaatst is, bij voorbeeld omdat de buis vernield was of onvindbaar was, of dat de buishoogte bij een tweede meetronde anders bleek te zijn. Een andere hoogte bij een tweede meetronde kan verklaard worden door nazakking na de plaatsing van de buis.

In Overijssel kon gemiddeld 5,4% van de peilbuizen niet worden waargenomen, wegens vorst, omdat ze verdwenen of onvindbaar waren of omdat ze droog stonden. De herstelwerkzaamheden vormden wel de grootste belasting van het onderzoek. Naast het normale herstelwerk moesten jaarlijks nog 200 à 300 buizen extra met een puls ontzand worden.

‘Van de herstelwerkzaamheden verzorgde in 1953 de Nederlandsche Heidemaatschappij het opnieuw zetten van de buizen en gebruikte hiervoor één jeep en 2 man. In 1954 en 1955 kreeg de C.O.L.N.-ingenieur dit werk erbij. Gemiddeld werden per dag 9 à 10 buizen hersteld, waarbij gemiddeld 160 km per dag werd gereden.’

Uit: deelrapport Overijssel

De buizen uit het coördinatenbestand zijn hooguit éénmaal toegekend. Van de meetreeksen waarvoor geen locaties gevonden kon worden, is handmatig naar de meest waarschijnlijke plekken op de kaartbladen gezocht. Twijfelgevallen zijn niet opgenomen. Ook buizen die buiten de huidige landsgrens liggen (Elten) zijn niet in beschouwing genomen.

Alle gegevens zijn met ARCVIEW geplot en gecontroleerd op de ligging binnen de aangegeven provincie. Afwijkingen langs bijvoorbeeld provinciegrenzen zijn gecorrigeerd aan de hand van *huidige* provinciegrenzen. Incidentele afwijkingen die ver van de provinciegrenzen liggen zijn uit het bestand verwijderd. Om later gericht in het databestand te kunnen zoeken is aan iedere meting de *huidige* gemeente toegevoegd.

3 Het digitale COLN-archief

3.1 Het databestand

De gegevens zijn opgeslagen in bijlage 5 in de CD in access. Van iedere record zijn de volgende gegevens opgenomen:

- kaartblad
- buisnummer (kan ook brandput o.i.d. zijn) die gekoppeld is aan het coördinatenbestand
- buisnummer-2; extra opgegeven codering, soms met nieuw bladnummer
- provincie
- jaar
- dag
- maand
- grondwaterstand in cm t.o.v. maaiveld (9999=onbekendcode; droog of ontbrekend)
- grondwaterstand in cm t.o.v. NAP (9999=onbekendcode)
- verplaatscode (H=herplaatst; V=verplaatst)
- x-coördinaat
- y-coördinaat
- volgnummer van de waarneming
- plaats

De stand ten opzichte van de bovenkant van de buis, de bovenkant van de buis t.o.v. NAP, en de hoogte van het maaiveld t.o.v. NAP zijn niet opgenomen. De hoogte van de bovenkant van de buis is niet meer van belang en de maaiveldshoogte kan berekend worden door optellen van de grondwaterstand t.o.v. NAP en de grondwaterstand t.o.v. maaiveld. Het betreft dan uiteraard de *toenmalige* maaiveldshoogte.

Het accessbestand bestaat uit 2 tabellen met gegevens die tussen 1950 en 1959 gemeten zijn. Eén tabel bestaat uit de kwartaalreeksen die op de kwartaalformulieren zijn ingevuld en de andere uit reeksen die afkomstig zijn van formulieren voor de half-maandelijkse reeksen. Het kwartaalreeksenbestand bevat ook reeksen met meer dan 12 waarnemingen omdat er soms binnen of buiten de COLN-periode extra waarnemingen zijn gedaan, en omgekeerd zijn er ook half-maandelijkse reeksen die uit weinig waarnemingen bestaan omdat de waarnemingen vroegtijdig zijn gestopt.

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de inhoud van het databestand en de figuren 3.1 en 3.2 laten zien welke locaties zijn gedigitaliseerd. De gegevens die al in het grondwaterarchief (DINO) zijn opgenomen zitten hier niet bij.

Tabel 3.1 Aantal gedigitaliseerde buizen en waarnemingen die zijn opgenomen in het databestand

Provincie	Kwartaalreeksen		Half-maandelijkse reeksen	
	buizen	waarnemingen	buizen	waarnemingen
Friesland	1309	16457	70	7111
Groningen	346	4013	254	14852
Drenthe	2588	46534	66	4756
Overijssel	2748	39967	203	10708
Gelderland	2682	33941	400	30264
Utrecht	47	647	4	259
Noord Holland	49	581	0	0
Zuid Holland	0	0	0	0
Zeeland	0	0	0	0
Noord-Brabant	4258	54199	151	11072
Limburg	413	15490	12	1085
Totaal	4671	69689	163	12157

Het grootste gedeelte van pleistoceen Nederland is gedigitaliseerd. Een aantal gemeentes ontbreken omdat deze niet te vinden waren in het NITG-TNO-archief. Verder zijn er geen grondwaterstanden gemeten in veel natuurgebieden en in gebieden met diepe grondwaterstanden. Een aantal gebieden die nu natuurgebied zijn waren in de jaren vijftig nog landbouwgebied, bijvoorbeeld de natte hooilanden in het dal van de Drentse Aa. Hier zijn dus wel gegevens van beschikbaar. In Friesland is ook een gebied met holocene afzettingen gedigitaliseerd.

Het databestand maakt het mogelijk om verschillende selecties of combinaties van selecties uit te voeren, bijvoorbeeld alle locaties

- binnen een bepaalde (*huidige*) provincie
- binnen een bepaalde (*huidige*) gemeente
- binnen een rechthoek (via X/Y-coördinaten)
- opgenomen op een bepaalde dag of in een bepaalde periode
- met een bepaalde grondwaterstand op een bepaalde dag
- een overzicht van alle buislocaties (selecteren van volgnummer 1)
- met meer dan een bepaald aantal grondwaterstandsmetingen (volgnummer)

Het bladnummer is minder geschikt als selectiecriteria omdat dit gedeeltelijk de oude indeling betreft.



Figuur 3.1 Locaties met kwartaalreeksen in het databestand

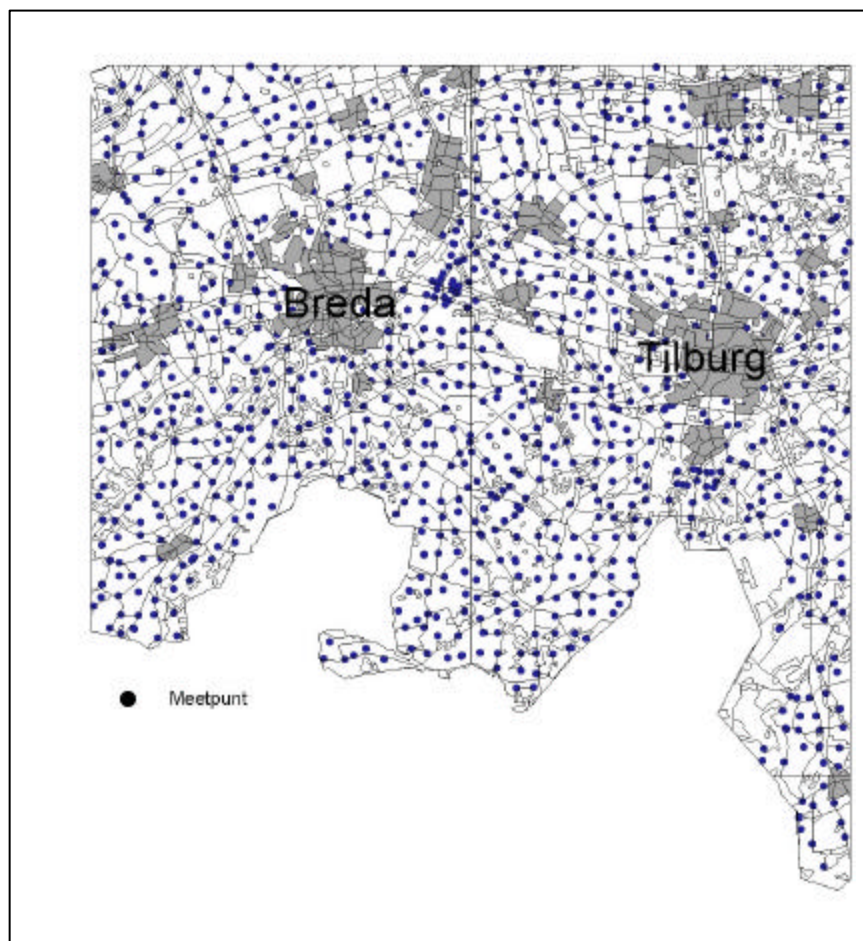


Figuur 3.2 Locaties met half-maandelijkse reeksen in het databestand

4 Reconstructie van de grondwaterstandskarakteristieken GHG en GLG

4.1 Het proefgebied

Het proefgebied ligt in het westen van Noord-Brabant (figuur 4.1). In dit gebied bevinden zich 1180 stam- en peilbuizen waarin de grondwaterstand is gemeten in de periode 1950-1959. De gegevens zijn afkomstig uit het digitale COLN-databestand en uit het grondwaterarchief (DINO) van NITG-TNO. Het merendeel zijn peilbuizen die 4x per jaar in de periode 1952-1955 zijn opgenomen (kwartaalreeksen).



Figuur 4.1 Ligging van de meetpunten binnen het proefgebied

4.2 Voorspellen van de GHG en GLG voor meetpunten

Voorspelling van GHG en GLG voor stambuizen

Voor het voorspellen van de klimaatsrepresentatieve GHG en GLG van de stambuizen in het gebied is de relatie tussen de gemeten grondwaterstand (ten opzichte van maaiveld) en het neerslagoverschot (neerslag – verdamping) beschreven met een transfer-ruismodel:

$$\begin{aligned}h_t &= h_t^* + n_t \\h_t^* &= ah_{t-1}^* + bP_t \\n_t &= c + f(n_{t-1} - c) + e_t\end{aligned}\tag{1}$$

waarin h_t is de grondwaterstand op tijdstip t , h_t^* is het deterministische deel van de grondwaterstand op tijdstip t , n_t is de autoregressive ruiscomponent op tijdstip t , P_t is de netto neerslag op tijdstip t , e_t is de witte ruiscomponent op tijdstip t , a , b , c en f zijn te calibreren model-coëfficiënten. De coëfficiënten van het transfer-ruis model zijn gecalibreerd met het programma KALTFN (Bierkens en Bron, 2000). In DINO-buizen en in sommige stambuizen uit het COLN-databestand zijn de grondwaterstanden ook buiten de periode 1952-1955 gemeten. Voor de calibratie van het transfer-ruismodel zijn de gegevens uit een ruimere periode (1950-1959) gebruikt.

Voor de calibratie van het transfer-ruismodel zijn ook de dagelijkse neerslaghoeveelheid en verdamping nodig. De referentieverdamping wordt in Nederland maar voor een beperkt aantal meteostations vastgesteld omdat de lokale verschillen over het algemeen klein zijn. Voor het proefgebied zijn de gegevens van De Bilt gebruikt. De neerslag varieert wel sterker van plaats tot plaats. Daarom zijn van alle officiële neerslagstations gegevens opgevraagd. Ontbrekende gegevens zijn aangevuld met gegevens van naastgelegen stations. Het transfer-ruismodel voor een bepaalde stambuis is gecalibreerd met de neerslaggegevens van het dichtst bijgelegen neerslagstation (figuur 4.2).



Met het transfer-ruismodel zijn grondwaterreeksen van 30 jaar gesimuleerd. Het weer over een periode van 30 jaar wordt beschouwd representatief te zijn voor het klimaat. Gekozen is voor de periode 1970-2000 omdat de tijdreeksen van neerslag en verdamping in deze periode het meest compleet zijn. Uit de gesimuleerde grondwaterstandreeksen zijn op reguliere wijze de GHG en GLG berekend (van der Sluis, 1990).

Voorspelling van GHG en GLG voor peilbuizen

Voor de peilbuizen is het aantal grondwaterstandsmetingen onvoldoende (12 waarnemingen) om een transfer-ruismodel te calibreren. Voor deze peilbuizen is de klimaatsrepresentatieve GXG voorspeld met enkelvoudige lineaire regressie. De predictor (verklarende variabele) is de gemeten grondwaterstand op een bepaalde dag in de stambuis waarvoor de GXG voorspeld is met het transfer-ruismodel. De responsvariabele is de gemeten grondwaterstand op dezelfde dag in de peilbuis. Voor het voorspellen van de GXG in een peilbuis zijn alle stambuizen gebruikt met minstens 5 gemeenschappelijke meettijdstippen. Per stambuis is een rechte lijn aangepast, d.w.z. het intercept b_0 en de hellingshoek b_1 van de best passende, rechte lijn door het spreidingsdiagram (met tenminste 5 punten) is geschat met de kleinste kwadratenmethode. Vervolgens is de GXG in de peilbuis voorspeld met:

$$G\hat{X}G_{COLN} = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 G\hat{X}G_{stambuis} \quad (2)$$

Dit levert dus voor elke peilbuis evenveel geschatte GXG's op als er stambuizen zijn met tenminste 5 gemeenschappelijke meettijdstippen. Behalve de voorspelde GXG is ook de standaardfout van deze voorspelling berekend, en tevens is gekeken of het regressiemodel (de rechte lijn) geëxtrapoleerd moet worden voor het voorspellen van de GXG. Dit laatste is gedaan door berekening van:

$$l = \mathbf{x}_0^T (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{x}_0, \quad (3)$$

waarin \mathbf{x}_0 de kolom-vector is met de elementen 1 en de voorspelde GXG in de stambuis, en \mathbf{X} de $(nx2)$ -matrix is met enen in de eerste kolom en de grondwaterstanden gemeten in de peilbuis gebruikt voor het aanpassen van de rechte lijn in de tweede kolom. Indien l groter is dan $2p/n$, met p het aantal regressiecoëfficiënten ($p=2$) en n het aantal gemeenschappelijke grondwaterstanden, dan moet het regressiemodel geëxtrapoleerd worden en vervalt deze voorspelling van de GXG (Oude Voshaar, 1994). Een voorspelling vervalt tevens wanneer het percentage verklaarde variantie van het regressiemodel (R_{adj}^2) kleiner is dan 65%. Tot slot zijn de resterende voorspelde GXG's per stambuis gecombineerd door berekening van het gewogen gemiddelde van de voorspelde GXG's, met als gewicht de inverse van de gekwadraterde standaardfout. De standaardfout van deze gecombineerde schatting is geschat met de kleinste standaardfout van de geschatte GXG per stambuis.

4.3 Patronen in de grondwaterdynamiek

In de vorige paragraaf is in 2 stappen de dichtheid van het aantal punten met een voorspelling van de GXG ten tijde van de COLN-periode aanzienlijk toegenomen. In deze laatste stap worden de voorspelde GXG's voor de stambuizen en peilbuizen ruimtelijk geïnterpoleerd naar de knooppunten van een 25 m x 25 m grid. Dit is gedaan met kriging gecombineerd met regressie (Knotters et al., 1995). In deze methode kunnen de volgende stappen onderscheiden worden:

1. selectie van regressiemodel voor GXG met als verklarende variabelen gebiedsdekkende hulpinformatie
2. voorspelling van GXG op gridpunten met geselecteerd regressiemodel
3. interpolatie van residuen van regressiemodel naar gridpunten met kriging

De drie stappen worden hierna verder toegelicht.

Selectie van regressiemodel voor GXG met gebiedsdekkende verklarende variabelen

De volgende gebiedsdekkende hulpvariabelen zijn in deze stap in beschouwing genomen:

- absolute maaiveldshoogte volgens AHN
- relatieve maaiveldshoogte volgens AHN
- grondwatertrap volgens Bodemkaart van Nederland schaal 1:50 000
- kwelklasse afgeleid van het bodemtype volgens Bodemkaart van Nederland schaal 1:50 000

Uit eerder onderzoek is gebleken dat de absolute en relatieve maaiveldshoogte een deel van de variatie in de GXG kunnen verklaren (Te Riele en Brus, 1992). Voor de bepaling van deze hulpvariabelen is gebruik gemaakt van een hoogtekartaal. In eerste instantie is hiervoor de 1 : 10 000 puntenkaart gebruikt omdat de opname hiervan het dichtst bij de COLN-periode ligt. De interpolatie van de puntgegevens tot een gebiedsdekkende kaart leverde echter voor de maaiveldligging een sterk vereffend beeld dat niet erg bruikbaar was als hulpinformatie bij de ruimtelijke interpolatie van de grondwaterstandskarakteristieken. Daarom is het Actuele Hoogtebestand Nederland (AHN) als hulpinformatie gebruikt. Dit bestand is eerst gecorrigeerd voor ingrepen waardoor de maaiveldshoogte kunstmatig is gewijzigd. Te denken valt aan wegen, woonerven en dijken. Deze plekken waar deze elementen voorkomen zijn uit het Top-10 vectorbestand geselecteerd en zijn vervolgens uit het AHN verwijderd. Vanaf de randen zijn deze plekken daarna stapsgewijs weer opgevuld. Vervolgens is gekeken hoeveel de hoogte van een gridcel verschilt van de gemiddelde hoogte van de omgeving. Deze relatieve maaiveldshoogte is vastgesteld voor een aantal verschillende zoekstralen, te weten 100m, 200 m, 400 m, 800 m en 1600 m.

De grondwatertrap is als kwalitatieve predictor in de regressie gebruikt. Het idee hierachter is dat de ruimtelijke patronen van de GXG ten tijde van de opname van de Bodemkaart van Nederland 1: 50 000 waarschijnlijk min of meer overeenkomen met die in de COLN-periode. Deze patronen worden immers voor een belangrijk deel door vrij statische landschapskenmerken bepaald. Door gebruik te maken van de Gt als kwalitatieve predictor in plaats van een van de Gt afgeleide GXG-waarde als

kwantitative predictor, maken we wel gebruik van de patronen op de Gt-kaart (begrenzings van de Gt-vlakken) maar vermijden we dat de voorspelde GXG ten tijde van de COLN-periode gedeeltelijk wordt bepaald door de GXG ten tijde van de opname van de bodemkaart. De grondwatertrappen zijn ingedeeld in 4 groepen die verschillen voor de GHG en GLG (zie tabel 4.1).

Veel bodemkenmerken hangen samen met de waterhuishouding, denk bijv. aan gleijverschijnselen. Wanneer de waterhuishouding verandert passen de bodemkenmerken zich maar heel langzaam aan, zodat uit de bodemkenmerken de vroegere waterhuishouding kan worden afgelezen. Jansen et al. (1999) hebben alle bodemeenheden van de Bodemkaart van Nederland 1: 50 000 gegroepeerd tot 5 kwelklassen. De mate van kwel neemt toe van kwelklasse 1 (geen kwel-infiltratie; meestal grote grondwaterfluctuatie en diepe grondwaterstanden) tot kwelklasse 5 (sterke kwel; kleine grondwaterfluctuatie en hoge grondwaterstanden). Ook de kwelklassen zijn gegroepeerd (zie tabel 4.2) voordat deze als kwalitatieve predictor is gebruikt in de regressie.

Tabel 4.1 Groepen van grondwatertrappen, gebruikt als kwalitatieve predictor in regressie

Gt	Gt-groep GHG	Gt-groep GLG
II	1	1
III	1	2
III*	1	2
IV	2	2
V	1	3
V*	1	3
VI	2	3
VII	3	3
VII*	4	4

Tabel 4.2. Groepen van kwelklassen, gebruikt als kwalitatieve predictor in regressie

Kwelklasse	Groep van kwelklasse
1	1
2	2
3	2
4	3
5	3

Als responsvariabele is de GXG ten opzichte van NAP genomen. Overigens is gebleken dat wanneer als respons de GXG ten opzichte van maaiveld wordt genomen, voor de GLG hetzelfde model (dezelfde predictoren) wordt geselecteerd, en dus tot identieke voorspellingen leidt. Voor de GHG wordt een iets ander model geselecteerd, en zijn de voorspellingen dus ook iets anders. De inverse van de gekwadraterde standaardfout van de voorspelde GXG in de stambuizen en peilbuizen is gebruikt als gewicht in de regressie. Om er voor te zorgen dat de restvariantie wordt geschat met het juiste aantal vrijheidsgraden worden de gewichten nog gedeeld door het gemiddelde gewicht, zodat de gewichten sommeren tot het totaal aantal punten waarmee het model wordt aangepast. Het beste model is geselecteerd op basis van het criterium E_p . Dit criterium kan het beste gebruikt worden wanneer de geselecteerde modellen worden gebruikt voor het voorspellen

van de respons variabele op nieuwe punten (Goedhardt en Thissen, 2002). Verder mag maximaal 1 van de 5 relatieve maaiveldshoogtes in het model zijn opgenomen.

Tabel 4.3 Geselecteerde modellen voor GXG ten opzichte van NAP; ns: predictor niet opgenomen in geselecteerde model

Predictor	geschatte coëfficiënt voor GHG	geschatte coëfficiënt voor GLG
Constante	-59.7	-102.7
relatieve mv (800)	-0.0669	ns
relatieve mv (1600)	ns	-0.1999
absolute mv	0.99889	0.98508
Gt glg-groep 2	ns	5.1
Gt glg-groep 3	ns	-15.7
Gt glg-groep 4	ns	-46.7
kwelklasse groep 2	8.4	1.9
kwelklasse groep 3	16.6	14.4

In tabel 4.3 zijn de geselecteerde modellen weergegeven. Voor de GLG wordt een model geselecteerd met alle predictoren, voor de GHG een model zonder Gt-groep. Een tweede verschil is dat voor de GHG een relatieve maaiveldshoogte berekend met een zoekstraal van 800 m het beste resultaat oplevert, en voor de GLG een zoekstraal van 1600 m. Het negatieve teken van de coëfficiënt voor de relatieve maaiveldshoogte duidt er op dat het GXG-vlak niet exact het maaiveld volgt maar iets is afgevlakt, hetgeen in overeenstemming is met de verwachting. De waarde van de coëfficiënt voor de absolute maaiveldshoogte is iets kleiner dan 1, hetgeen ook duidt op een afvlakking. Het percentage verklaarde variantie van de geselecteerde modellen is 99.9 voor GHG en 99.8 voor GLG. De standaardafwijking van de residuen is 25.3 cm voor GHG, en 34.0 cm voor GLG. Het aantal buizen waarmee het regressiemodel is aangepast is 591 voor de GHG en 698 voor de GLG.

Voorspelling van GXG op gridpunten met geselecteerd regressiemodel

Omdat de hulpvariabelen (predictoren) gebiedsdekkend aanwezig zijn, kan met de geselecteerde regressiemodellen de GXG op de knooppunten van het 25 m x 25 m grid voorspeld worden met

$$G\hat{X}G = \hat{\mathbf{b}}\mathbf{x}_0, \quad (4)$$

waarin $\hat{\mathbf{b}}$ de vector is met geschatte regressiecoëfficiënten (tabel 4.3), en \mathbf{x}_0 de vector met waarden van de predictoren. Bijvoorbeeld, voor een gridpunt behorend met Gt VI volgens de Bodemkaart van Nederland 1: 50 000 (Gt glg-groep = 3) en kwelklasse-groep 2 wordt de GLG voorspeld met

$$G\hat{L}G_{NAP} = -102.7 - 0.1999 \cdot rmv_{1600} + 0.98508 \cdot amv - 15.7 + 1.9. \quad (5)$$

Interpolatie van residuen van regressiemodel naar gridpunten

Bij de regressie wordt verondersteld dat de residuen ruimtelijk ongecorreleerd zijn. In deze stap wordt nagegaan of deze veronderstelling juist. Hiervoor is met de residuen op de stambuis- en peilbuis-punten een experimenteel variogram geschat (figuren 4.3

en 4.4). Uit deze figuren blijkt dat de residuen ruimtelijk wel enigszins gecorreleerd zijn, hoewel het intercept (nugget) van de variogrammen vrij groot lijkt te zijn, met name voor de residuen van de GLG. Dit duidt op een sterke variatie van de residuen over korte afstand. Omdat de residuen enigszins ruimtelijke gecorreleerd lijken te zijn, zijn de residuen ruimtelijk geïnterpoleerd met *Simple Kriging* met verwachtingswaarde 0 (Goovaerts, 1997). Hiervoor is een eenvoudig model aangepast aan de experimentele variogrammen. Voor zowel de GHG-residuen als de GLG-residuen is gekozen voor een isotroop sferisch model met nugget (tabel 4.4). De aangepaste modellen zijn tevens weergegeven in de figuren 4.3 en 4.4.

Tabel 4.4 Geschatte coëfficiënten van sferisch variogram voor residuen van GHG en GLG

	range (m)	nugget (cm ²)	sill (cm ²)
residuen GHG	4093	452	768
residuen GLG	7672	768	989

De voorspelde GXG op de gridpunten zijn tot slot *geupdate* door de geïnterpoleerde residuen op te tellen bij de in stap 2 verkregen voorspelde waarde

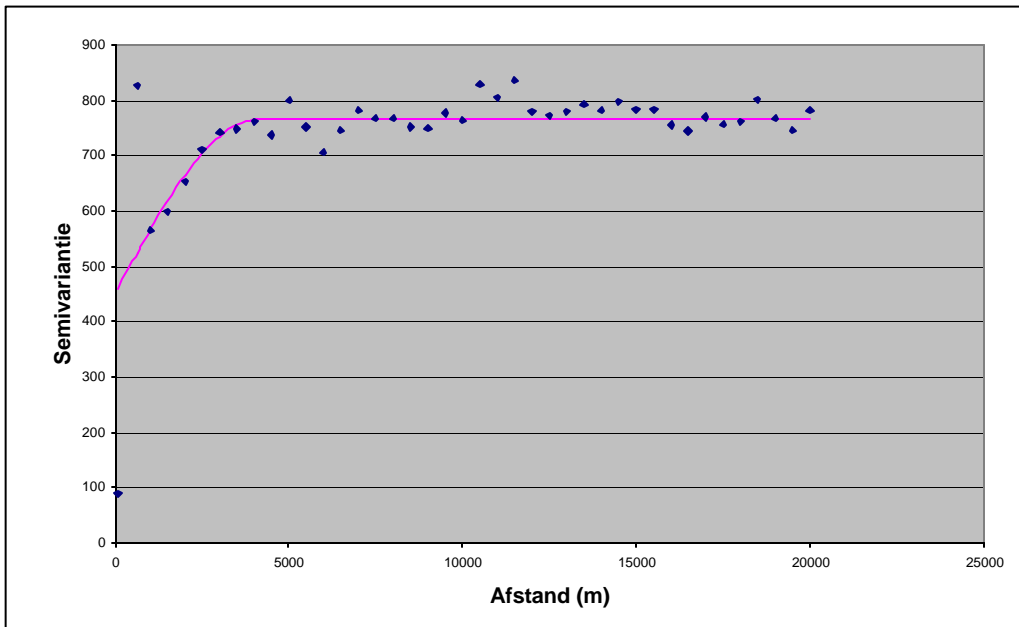
$$GXG = \hat{\mathbf{b}}\mathbf{x}_0 + \hat{\mathbf{e}}_{SK}, \quad (6)$$

waarin $\hat{\mathbf{e}}_{SK}$ is het met *Simple Kriging* geïnterpoleerde residu is op het gridpunt. Het gevolg hiervan is dat de voorspelde GXG op gridpunten omgeven door buizen met bijvoorbeeld allemaal negatieve residuen (de GXG ten opzichte van NAP is lager dan met het regressiemodel voorspeld) naar beneden wordt bijgesteld. De variantie van de fout van deze voorspelde GXG is geschat met

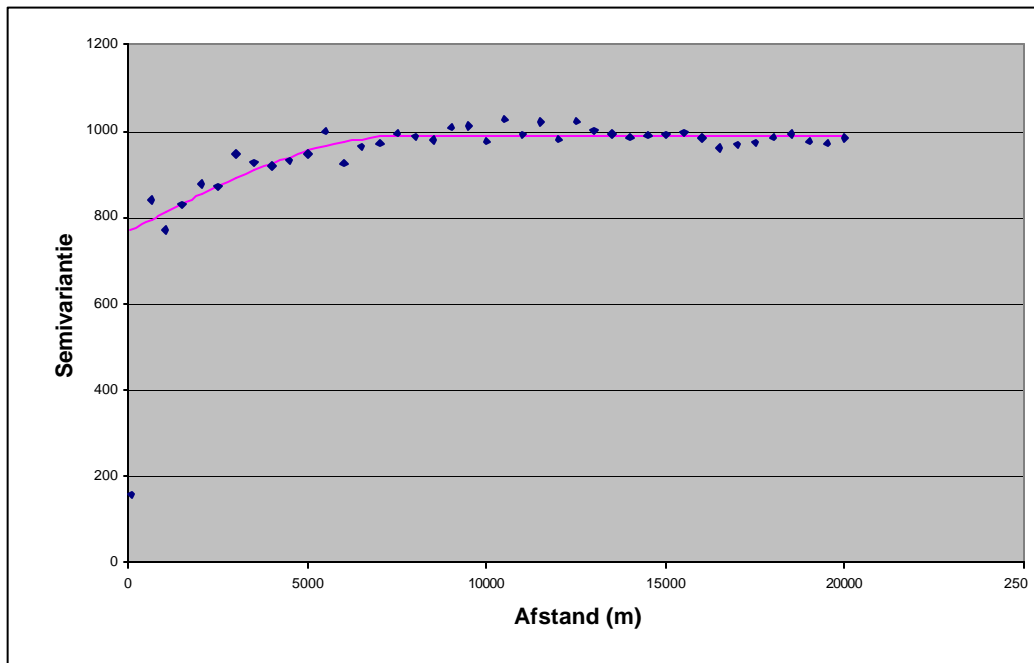
$$\text{var}(GXG) = s_{MLR}^2 \left\{ \mathbf{x}_0^T (\mathbf{X}^T \mathbf{W} \mathbf{X})^{-1} \mathbf{x}_0 \right\} + s_{SK}^2, \quad (7)$$

waarin s_{MLR}^2 is de geschatte restvariantie van het regressiemodel, s_{SK}^2 is de kriging variantie van het geïnterpoleerde residu, \mathbf{X} de $(p \times p)$ matrix is met waarden van de predictoren op de punten gebruikt in de regressie ($p = 5$ voor GHG, en $p = 8$ voor GLG), en \mathbf{W} de $(n \times n)$ -matrix met regressie-gewichten. Tot slot is met vergelijking (2) gekeken of de regressiemodellen geëxtrapoleerd moeten worden voor het voorspellen van de GXG op de gridpunten

De kaarten met voorspelde GHG en GLG ten tijde van de COLN-periode zijn opgenomen op de CD als bijlage 6 en 7. De plekken die sinds 1955 zijn bebouwd zijn niet ingekleurd omdat de maaiveldshoogte daar drastisch is gewijzigd. Verder zijn in beide kaarten de witte plekken van de oorspronkelijke COLN-kaarten aangegeven. Het betreft plekken waar geen grondwaterstandmetingen zijn gedaan, meestal omdat het natuurgebieden betrof of omdat de grondwaterstand te diep was. Er heeft geen verdere controle of toetsing van de kaarten plaatsgevonden. Ze zijn uitsluitend bedoeld als illustratie van de methode en zijn dus ongeschikt om voor andere doeleinden toe te passen.



Figuur 4.3 Experimenteel en aangepast variogram voor de residuen van het geselecteerde regressiemodel voor de GHG



Figuur 4.4 Experimenteel en aangepast variogram voor de residuen van het geselecteerde regressiemodel voor de GLG

De kaarten met de nauwkeurigheid (variantie) van de voorspelde GXG's zijn weergegeven in de bijlagen 8 en 9. Tot slot geven bijlage 10 en 11 aan waar voor het voorspellen van de GXG het regressiemodel waarmee de trend wordt beschreven (model met o.a. absolute en relatieve maaiveldshoogte als predictoren) geëxtrapoleerd moest worden, zodat de met het regressiemodel voorspelde GXG's onbetrouwbaar zijn. Deze onbetrouwbaarheid komt wel tot uitdrukking in de hoge varianties van bijlage 8 en 9, maar deze varianties zijn nog onderschattingen van de werkelijke onzekerheid omdat onzekerheid over het verloop van het model buiten het de puntenwolk waarmee het model is aangepast, niet is verdisconteerd.

5 Aanbevelingen en conclusies

Een eerste aanbeveling is om het databestand met COLN-gegevens te completeren met ontbrekende gegevens. Enerzijds gaat het om een groot gedeelte van holoceen Nederland waarvan de gegevens in het TNO-archief aanwezig zijn en anderzijds gaat het om gegevens van gemeentes in pleistoceen Nederland die niet meer in het TNO-archief zitten, maar die waarschijnlijk nog wel in het Alterra-archief aanwezig zijn. De gegevens in het Alterra-archief zijn moeilijker te ontsluiten, maar het betreft een beperkt aantal gemeentes.

Bij de koppeling van de gedigitaliseerde grondwaterstanden aan de gedigitaliseerde locaties zijn er nog meetreeksen waarvoor geen locaties gevonden zijn. Een extra zoektocht levert waarschijnlijk nog een aantal treffers op.

De methode om eerst met transfer-ruis modellen voor de halfmaandelijks waargenomen stambuizen klimaatsrepresentatieve GXG's te berekenen, en vervolgens deze GXG's te gebruiken als predictorwaarde in lineaire regressie modellen voor de grondwaterstand in peilbuizen met kwartaalreeksen levert voldoende puntgegevens op voor het schatten van een trend als functie van gebiedsdekkende hulpvariabelen zoals de absolute en relatieve maaiveldshoogte, de grondwatertrap volgens de bodemkaart van Nederland 1:50 000 enz.. Bovendien is de dichtheid van de GXG's op punten groot genoeg om een variogram te schatten dat gebruikt kan worden bij een ruimtelijke interpolatie van de regressie-residuen met kriging.

Van de hulpvariabelen die bij de ruimtelijke interpolatie van de puntgegevens van GXG naar vlakken gebruikt worden is de kwelklasse een goede verklarende variabele. De absolute maaiveldshoogte verklaart een zeer groot gedeelte van de variatie, maar dit komt omdat de GXG ten opzichte van NAP als respons is gekozen. De bijdrage van de relatieve maaiveldshoogte is minder duidelijk. Gekozen is voor het actuele hoogtebestand (AHN) in plaats van het 1 : 10 000 hoogtepuntenbestand dat dateert uit de jaren zestig van de vorige eeuw. Het hoogtepuntenbestand levert na extrapolatie een glooiend maaiveld op, waarna de regressiemethode ook een (te) afgevlakte GXG oplevert. Bij het gebruik van het AHN kunnen echter ook kanttekeningen worden geplaatst. Afgezien van stadsuitbreidingen en infrastructuur van na 1955 (die uit het AHN zijn weggefilterd) is het maaiveld in het agrarisch gebied op veel plaatsen gewijzigd (Koomen en Exaltus, in prep.). Een nader onderzoek naar de veranderingen in maaiveldhoogte en topografie levert mogelijk een betere maaiveldshoogte ten tijde van het COLN-onderzoek op en daarmee een beter model.

De als beste geselecteerde regressiemodellen voor GHG en GLG voor het proefgebied zijn mogelijk niet de beste modellen bij toepassing in een ander deel van pleistoceen Nederland. Nader onderzoek naar de modelbouw is gewenst wanneer voor heel pleistoceen Nederland de GXG moet worden gekarteerd. Hierbij moet er

opgelet worden dat het aantal regressiecoëfficiënten (aantal predictoren) in evenwicht moet zijn met het aantal waarnemingen (locaties met voorspelde GXG). Dit betekent o.a. dat voorzichtig moet worden omgesprongen met het onderscheiden van deelgebieden, zeker wanneer per deelgebied een beste regressiemodel wordt geselecteerd. Voor pleistoceen Nederland zou een indeling in het noordelijk zandgebied (Drenthe + delen van Groningen en Friesland), het oostelijk zandgebied (Overijssel en Achterhoek) en het zuidelijk zandgebied (Noord-Brabant en noord Limburg) in eerste instantie overwogen kunnen worden.

Statistisch gezien is de aanpak waarbij in eerste instantie verondersteld wordt dat de residuen ruimtelijk ongecorrleerd zijn, en vervolgens een model voor de ruimtelijke correlatie van de residuen wordt aangepast niet fraai, en sub-optimaal. Theoretisch is het mogelijk simultaan de regressiecoëfficiënten en de coëfficiënten van het variogram van de residuen te schatten. Ook verdient het de voorkeur simultaan de GHG en de GLG te interpoleren in plaats van separaat zoals in deze studie is gedaan. Aanbevolen wordt op zoek te gaan naar programmatuur dan wel programmatuur te ontwikkelen voor deze verbeterde aanpak van ruimtelijke interpolatie (simulatie).

De nodige voorzichtigheid is geboden bij gebruik van de voorspelde GXG's in grote natuurgebieden (witte plekken op oorspronkelijke COLN-kaarten). Dat is met name het geval als de voorspelde GXG's een hoge variantie (grote onnauwkeurigheid) hebben, en de regressiemodellen geëxtrapoleerd moeten worden om voor deze gebieden de GXG te voorspellen.

Literatuur

Bierkens, M.F.P. & W.A. Bron, 2000. *Vidente: a graphical user interface and decision support system for stochastic modelling of water table fluctuations at a single location. Includes documentation of the programs KALMAX, KALTFN, SSD and EMERALD and introductions to stochastic modelling.* Alterra rapport 118, Wageningen.

Beugelink, G.P. & F.A.M. Claessen (eds), 1995. *Operationalisatie van 25%-doelstelling Verdroging: maatregelen, kosten en effecten.* Achtergronddocument verdroging. RIVM, rapport 715001001, Bilthoven.

COLN, 1958. Deelrapporten 1-12. Delft, Commissie Landbouwwaterhuishouding Nederland-TNO.

1. Visser, W.C. *De landbouwwaterhuishouding van Nederland.*
2. Bon, J. en B. Vrijfof. *De landbouwwaterhuishouding in de provincie Groningen.*
3. Koolhaas, J.F. en B. Vrijfof. *De landbouwwaterhuishouding in de provincie Friesland.*
4. Bos, H. *De landbouwwaterhuishouding in de provincie Drenthe.*
5. Freeve, J. *De landbouwwaterhuishouding in de provincie Overijssel.*
6. Reuter, K.N. en J.J. Kouwe. *De landbouwwaterhuishouding in de provincie Gelderland.*
7. Voort, M. van der en B. Vrijfof. *De landbouwwaterhuishouding in de provincie Utrecht.*
8. Vries, H. de en B. Vrijfof. *De landbouwwaterhuishouding in de provincie Noord-Holland.*
9. Stol, Ph. Th. en B. Vrijfof. *De landbouwwaterhuishouding in de provincie Zuid-Holland.*
10. 't Leven, J.A. van, B. van der Weerd en J.J. Lindenbergh. *De landbouwwaterhuishouding in de provincie Zeeland.*
11. Kouwe, J.J. en B. Vrijfof. *De landbouwwaterhuishouding in de provincie Noord-Brabant.*
12. Hellings, A.J. *De landbouwwaterhuishouding in de provincie Limburg*

Eck, R. van, F. Klijn, J. Runhaar, R. Stuurman, W. Tamis & J. Reckman, 1997. *Gewenste grondwatersituatie Noord-Brabant.* Deelrapport 1. Leiden CML/Lelystad RIZA. RIZA-rapport 98.027.

Goedhart, P.W. & J.T.N.M. Thissen (eds.). 2002. *Biometris Genstat procedure library manual 6-th edition.* Biometris, Wageningen, the Netherlands. (www.biometris.nl)

Goovaerts, P., 1997. *Geostatistics for natural resources evaluation.* Oxford University Press, New York.

Hooghoudt, S.B., 1952. *Waarnemingen van grondwaterstanden voor de landbouw.* Verslagen Technische Bijeenkomsten CHO-TNO, blz. 94-109.

Jansen, P.C., F. de Vries & J. Runhaar, 1999. *Grondwaterkarakteristieken van bodemeenheden.* Het oorspronkelijke grondwaterregime ontleend aan bodemeenheden. Alterra, rapport 694. Wageningen.

Knotters, M., D.J. Brus & J.H. Oude Voshaar, 1995. *A comparison of kriging, co-kriging and kriging combined with regression for spatial interpolation of horizon depth with censored observations*. *Geoderma* 67: 227-246.

Koomen, A.J.M. & R.P. Exaltus, in prep. *De vervlakking van Nederland*. Alterra, rapport. Wageningen.

Krul, W.F.J.M., 1952. *Een grondwaterstandsk kaart voor Nederland*. Verslagen Technische Bijeenkomsten CHO-TNO, blz. 85-93.

Oude Voshaar, J., 1994. *Statistiek voor onderzoekers: met voorbeelden uit de landbouw- en milieuwetenschappen*. Wageningen Pers, Wageningen.

Riele, W.J.M. te & D.J. Brus, 1992. *Het gebruik van fysisch-geografische voorinformatie bij de ruimtelijke voorspelling van grondwaterstanden en grondwaterstandskarakteristieken (GHG en GLG)*. Wageningen, SC-DLO, Rapport 209, 51 blz.

Sluis. P. van der, 1990. *Grondwatertrappen*. In: W.P. Locher en H. de Bakker (red.) *Bodemkunde van Nederland*, deel1. Blz. 167-180. Malmberg, 's-Hertogenbosch.

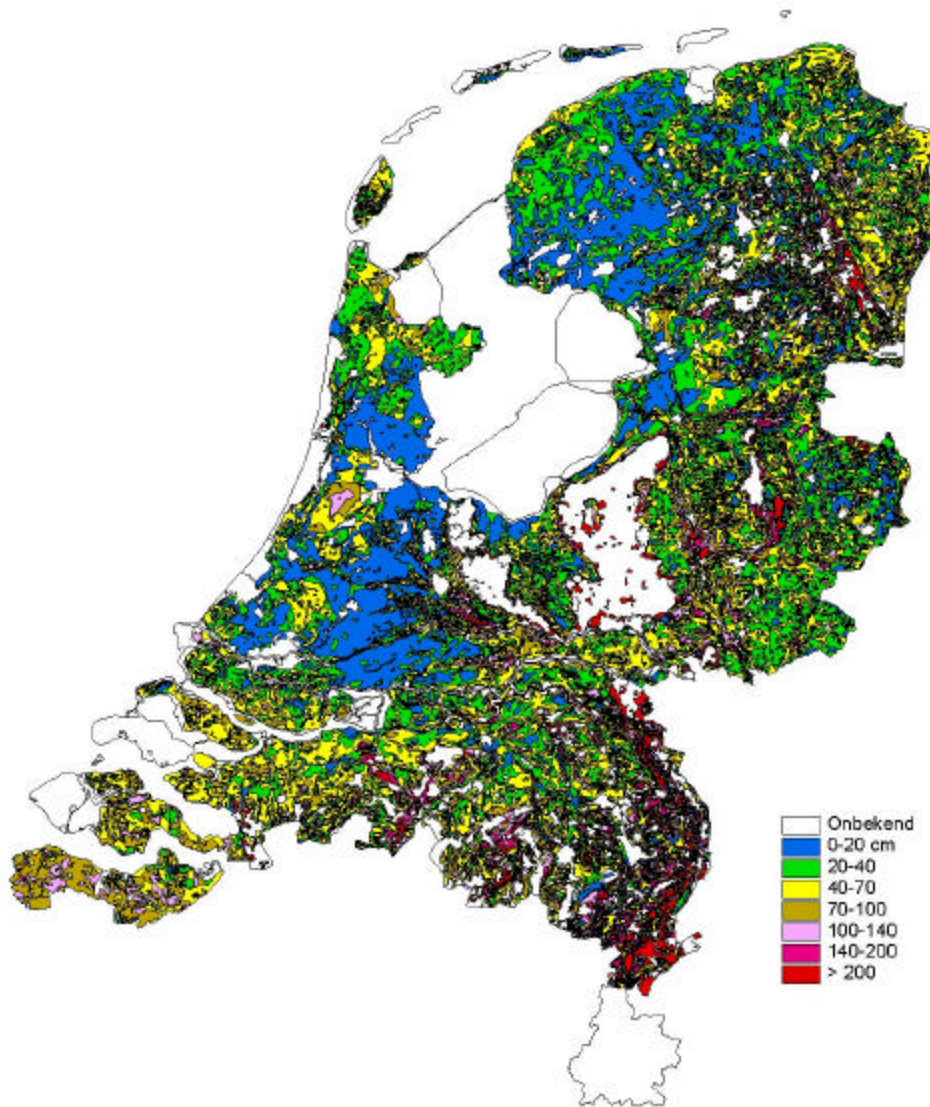
Visser, W.C., 1952. *Waterhuishoudkundige kartering ten dienste van de landbouw*. Verslagen Technische Bijeenkomsten CHO-TNO, blz. 110-126.

Visser, W.C., 1958. *De landbouwwaterhuishouding van Nederland*. Delft, Commissie Landbouwwaterhuishouding Nederland-TNO, rapport 1, 159 blz.

Bijlagen (op CD)

1. A. Oorspronkelijke COLN-winterkaart (shape)*
B. Oorspronkelijke COLN-winterkaart (jpg)
2. A..Oorspronkelijke COLN-zomerkaart (shape)*
B. Oorspronkelijke COLN-zomerkaart (jpg)
3. Omnummeringstabel van in DINO-ingevoerde COLN-buizen (excel)*
4. Overlay van Bonne- en stereografische projectie (jpg)
5. Databestand met gedigitaliseerde gegevens (access)*
6. Gereconstrueerde GHG-kaart voor het proefgebied (jpg)
7. Gereconstrueerde GLG-kaart voor het proefgebied (jpg)
8. Variantie van voorspelde GHG (jpg)
9. Variantie van voorspelde GLG (jpg)
10. Extrapolatie van het regressiemodel voor de GHG (jpg)
11. Extrapolatie van het regressiemodel voor de GLG (jpg)

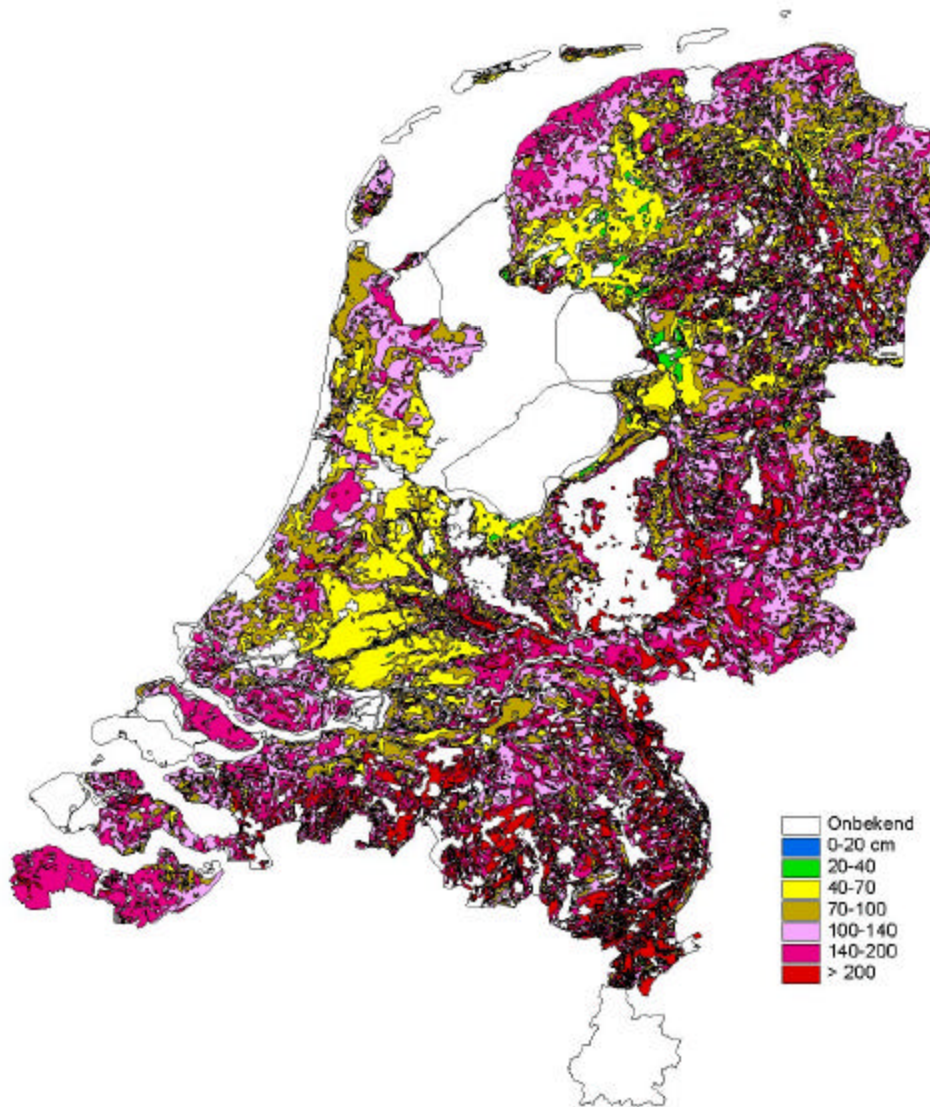
* zijn in dit rapport niet opgenomen, staan wel op CD-R.



Wintergrondwaterstand in de COLN-periode (1952-1955)

Gedigitaliseerde versie van de oorspronkelijke kaart

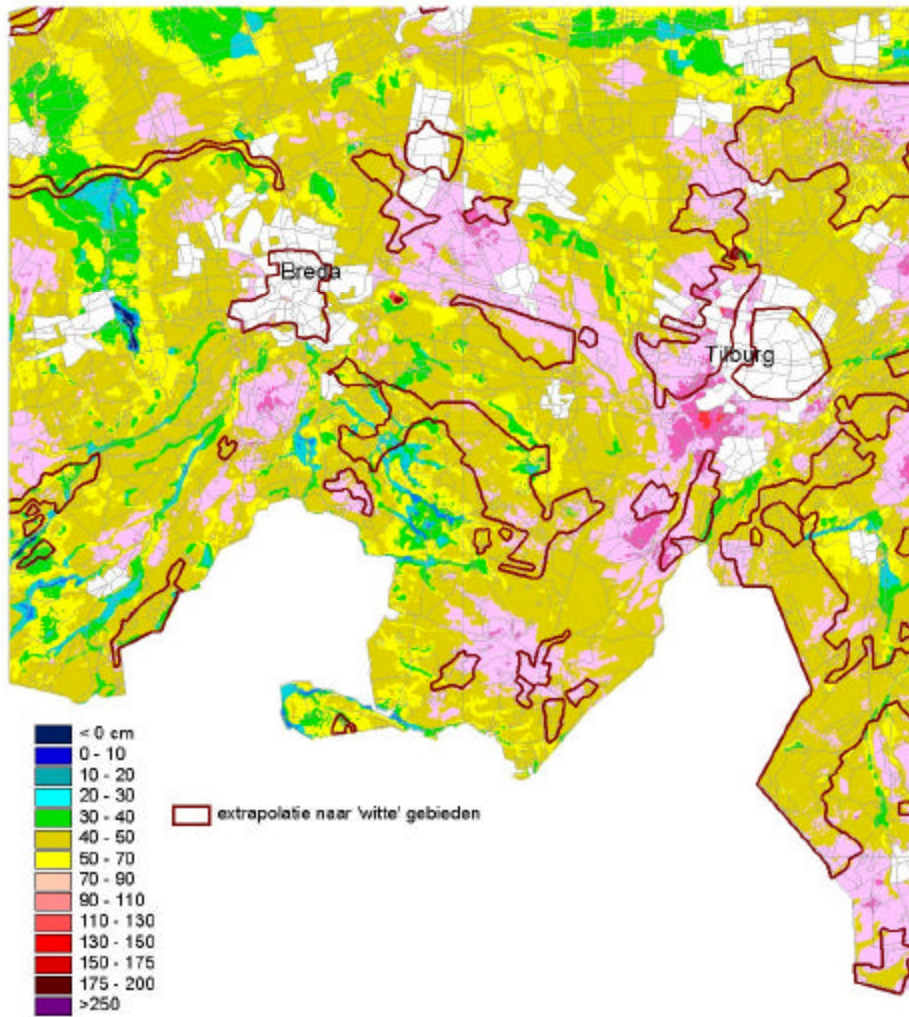




Zomergrondwaterstand in de COLN-periode (1952-1955)

Gedigitaliseerde versie van de oorspronkelijke kaart

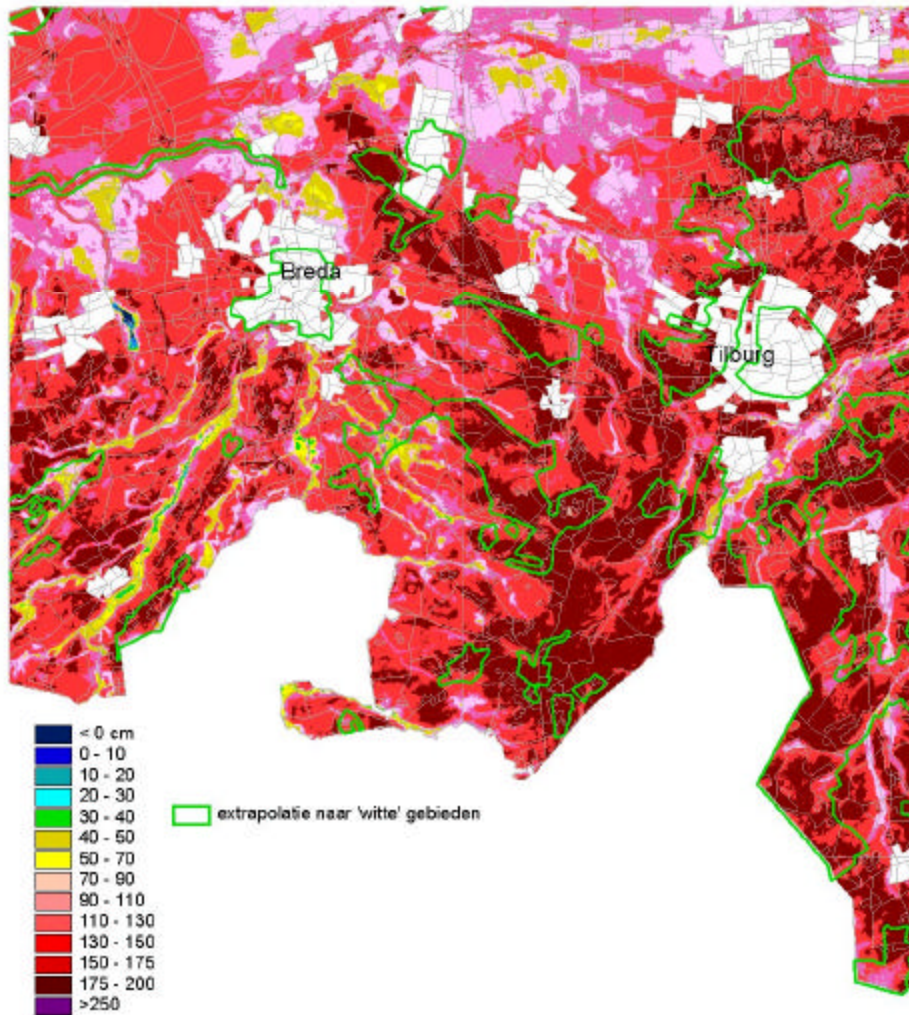




Reconstructie van de GHG in de COLN-periode

Bijlage 6 bij rapport 614:
 Reconstructie van historische grondwaterstandskarakteristieken
 met grondwaterstanden gemeten in de periode 1952-1955

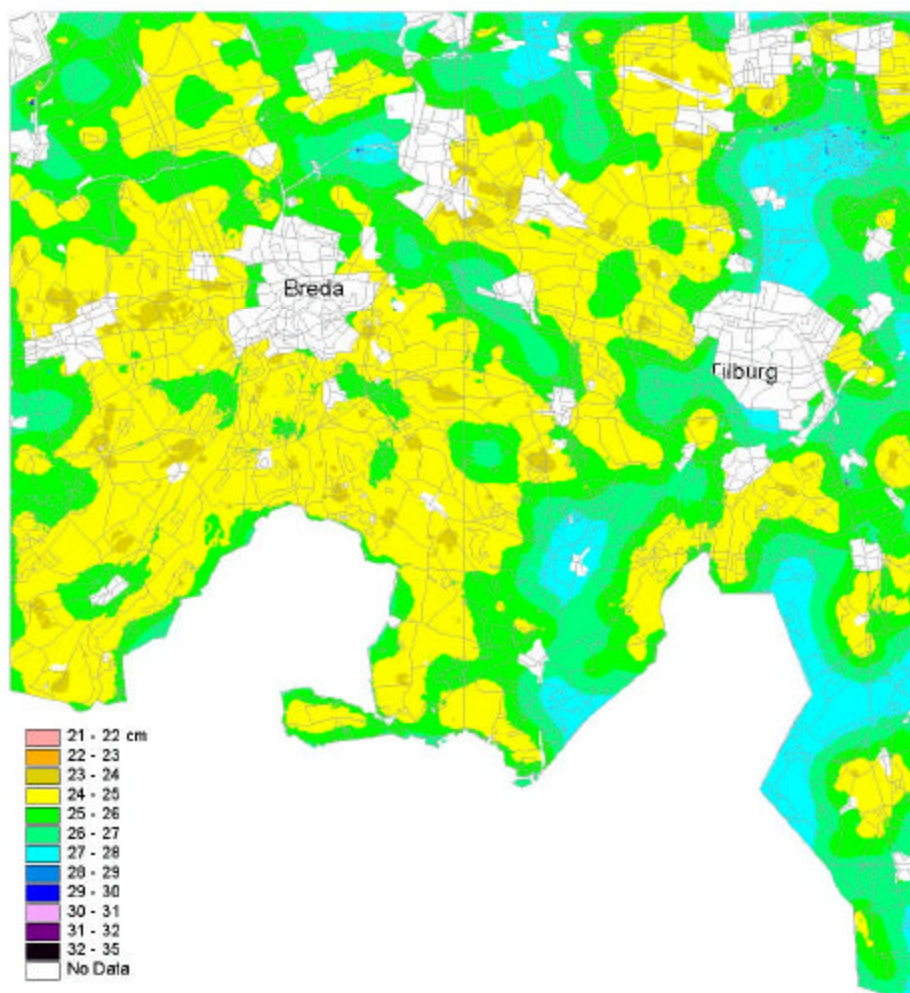




Reconstructie van de GLG in de COLN-periode

Bijlage 7 bij rapport 614:
 Reconstructie van historische grondwaterstandskarakteristieken
 met grondwaterstanden gemeten in de periode 1952-1955

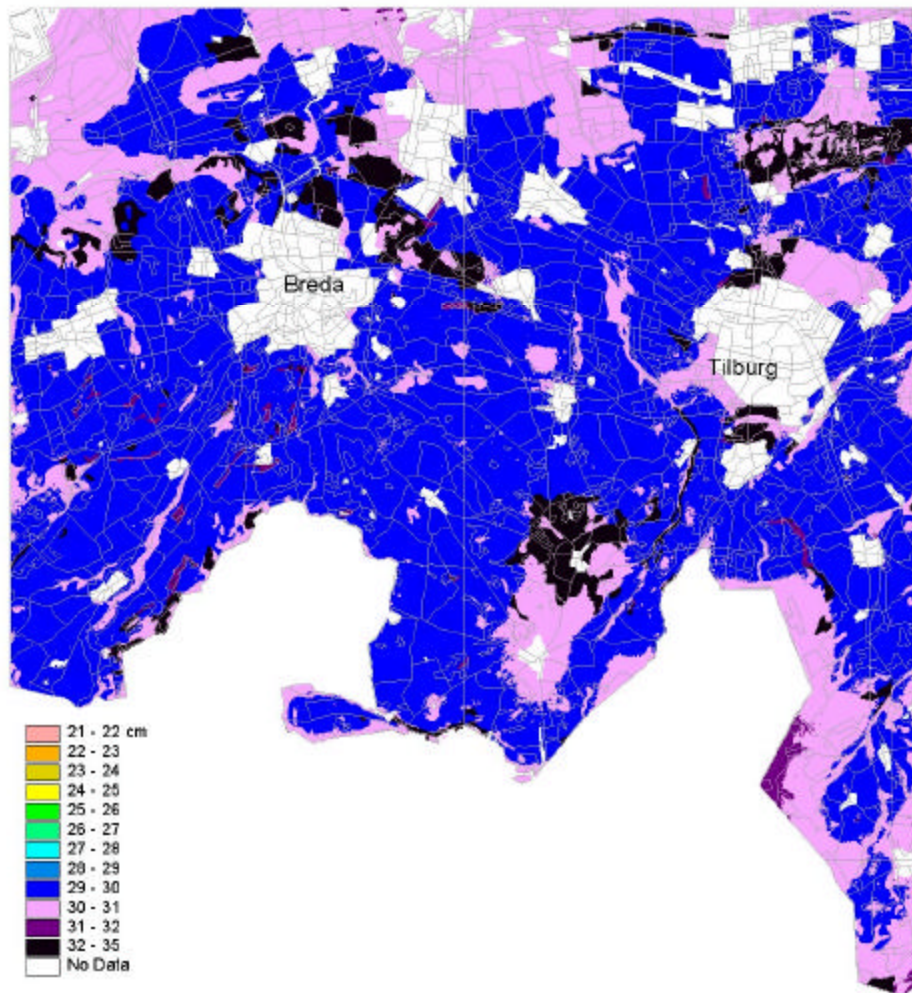




Variantie van de voorspelde GHG

Bijlage 8 bij rapport 614:
Reconstructie van historische grondwaterstandskarakteristieken
met grondwaterstanden gemeten in de periode 1952-1955

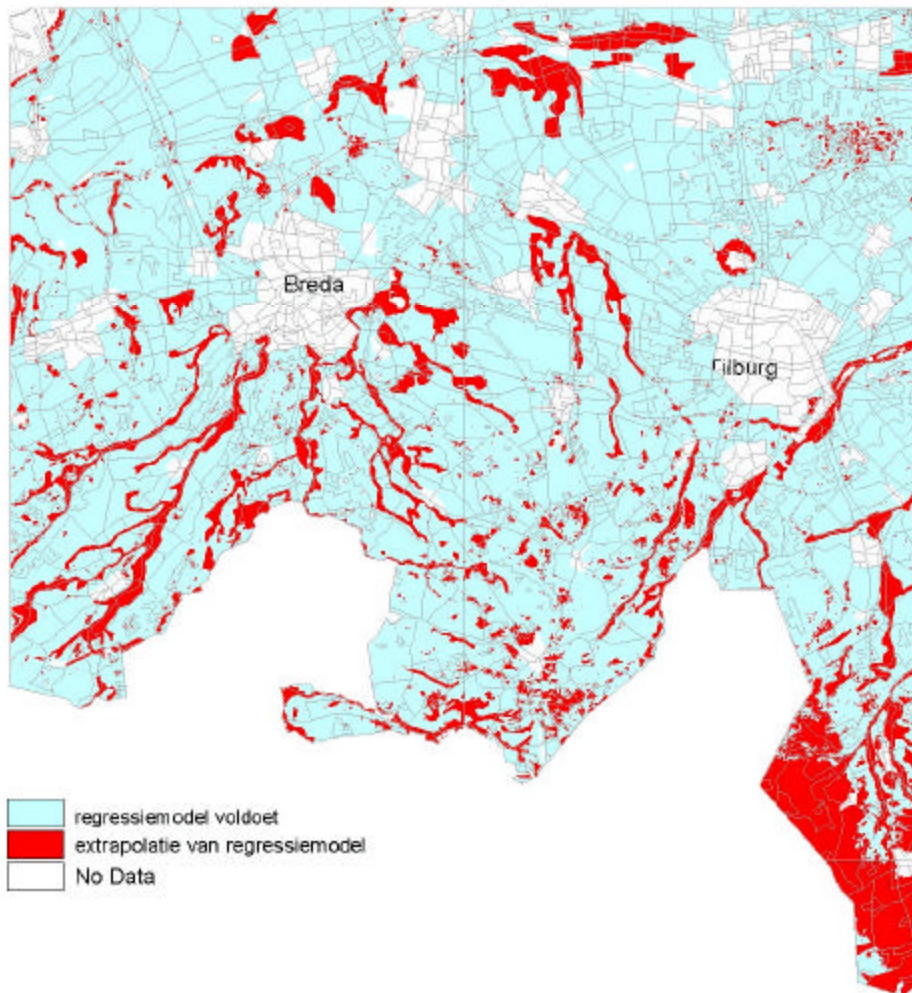




Variantie van de voorspelde GLG

Bijlage 9 bij rapport 614:
 Reconstructie van historische grondwaterstandskarakteristieken
 met grondwaterstanden gemeten in de periode 1952-1955

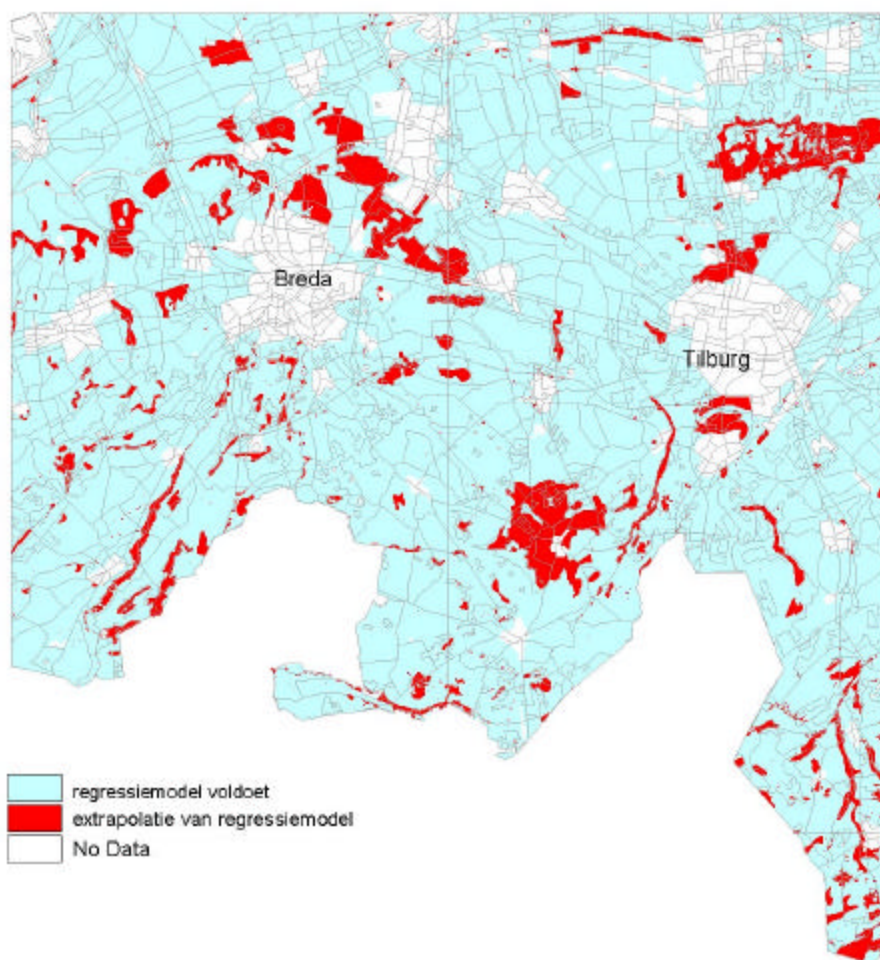




Status van het regressiemodel voor de GHG

Bijlage 10 bij rapport 614:
Reconstructie van historische grondwaterstandskarakteristieken
met grondwaterstanden gemeten in de periode 1952-1955





Status van het regressiemodel voor de GLG

Bijlage 11 bij rapport 614:
Reconstructie van historische grondwaterstandskarakteristieken
met grondwaterstanden gemeten in de periode 1952-1955

