

Verdrogingskartering in natuurgebieden

Verdrogingskartering in natuurgebieden

Proefkartering Strijper Aa

S.P.J. van Delft

J.R. Runhaar

T. Hoogland

P.C. Jansen

Alterra-rapport 566.1

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2002
NITG-TNO, Delft, 2002

REFERAAT

Delft, S.P.J. van, J.R. Runhaar, T. Hoogland, P.C. Jansen, 2002. *Verdrogingskartering in natuurgebieden; Proefkartering Strijper Aa*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte; Driebergen, Staatsbosbeheer. Alterra-rapport 566.1. 86 blz. 19 fig.; 5 tab.; 28 ref.

In dit rapport is, voor het proefgebied Strijper Aa, een methode uitgewerkt om de mate van verdroging voor grote natuurgebieden (enkele honderden tot 1000 ha) vast te stellen. Door een combinatie van een hoogtekaart, een bodemkaart, profielbeschrijvingen en grondwaterstandsmetingen in 120 boorgaten en in 19 peilbuizen zijn kaarten afgeleid van de GHG, GVG en GLG in een niet verdroogde referentieperiode en de actuele toestand. Door vergelijking van deze kaarten is de mate van verdroging afgeleid.

Trefwoorden: verdroging, bodem, grondwater, vegetatie, natuur

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 22,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 566.1. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2002 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd 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	15
1.1 Doelstelling en achtergrond	15
1.2 Opzet van de verdrogingskartering en indeling van het rapport	16
1.3 Begrippenkader	17
2 Gebiedbeschrijving	19
2.1 Gebiedsbegrenzing	19
2.2 Geologie	21
2.2.1 Afzettingen in de diepere ondergrond	21
2.2.2 Dekzanden en Fluvioperiglaciale afzettingen	21
2.2.3 Afzettingen uit het Holocene	22
2.3 Bodem	22
2.4 Hydrologie	25
2.4.1.1 Historische situatie	26
2.4.1.2 Huidige situatie	27
2.4.2 Verdrogingsbestrijding	29
3 Materiaal en methode	31
3.1 Methode op hoofdlijnen	31
3.2 Gegevensverzameling	33
3.2.1 Basisgegevens	33
3.2.2 Selectie peilbuizen	34
3.2.3 Veldwaarnemingen	34
3.2.3.1 Stratificatie	34
3.2.3.2 Selectie van de boorpunten	35
3.2.3.3 Waarnemingen in boorgaten	35
4 Referentie grondwaterregime	37
4.1 Referentie grondwaterstanden volgens de Brabantse methode	37
4.1.1 Correctie voor veldschattingen	41
4.2 Referentiegrondwaterstanden door interpolatie van veldschattingen	43
4.3 Vergelijking van de methoden	45
4.4 Resultaten Referentie grondwaterregime	46
4.4.1 Referentiegrondwaterstanden door interpolatie van veldschattingen	46
5 Actuele grondwaterregime	47
5.1 Methode voor het bepalen van actuele grondwaterstanden	47
5.1.1 Tijdreeksanalyse voor peilbuizen	47
5.1.2 Voorspelling GXG in boorgaten	48
5.1.3 Afleiding vlakdekkende GXG met Gd-methode	49
5.1.4 Interpolatie tussen boorgaten	52
5.2 Resultaten	54

6	Mate van verdroging	55
6.1	Verandering grondwaterstanden	55
6.2	Resultaten mate van verdroging	55
6.2.1	Verandering GXG	55
7	Effect meetdichtheden	57
7.1	Effect aantal buizen op voorspelling GXG in boorgaten	57
7.2	Effect van de boordichtheid	59
7.2.1	Beoordeling van het kaartbeeld bij verschillende boordichtheden	59
7.2.1.1	GXG in de referentieperiode	59
7.2.1.2	Actuele GXG	61
7.2.2	Beoordeling effect boordichtheid door crossvalidatie	63
7.2.3	Conclusies ten aanzien van de boordichtheid	63
7.2.4	Conclusies ten aanzien van de boringsdichtheid	65
8	Discussie	67
8.1	Methoden voor bepaling van de RGR	67
8.2	Methoden voor de bepaling van de actuele grondwaterstanden	67
8.3	Vereiste waarnemingsdichtheden	68
8.4	Variabelen voor het bepalen van de mate van verdroging	68
	Literatuur	71

Aanhangsels

1	Waarnemingen in boorgaten	75
2	Klimaatrepresentatieve GXG in boorgaten	83

Kaarten, bijgeleverd op CD-ROM

1	Overzichtskaart
2	Bodemkaart
3	Historisch grondgebruik
4	Hoogtekaart
5	Locaties peilbuizen en Boorpunten
6a	Referentie GHG
6b	Referentie GVG
6c	Referentie GLG
7a	Actuele GHG
7b	Actuele GVG
7c	Actuele GLG
8a	Verandering GHG
8b	Verandering GVG
8c	Verandering GLG
9	Beoordeling meetdichtheid

Woord vooraf

Omdat bij terreinbeherende instanties behoefte is aan een goede afstemming van de methodiek voor verdrogingskartering op verschillende schaalniveaus en bij verschillende terreingrootte is door Alterra, in samenwerking met verschillende partners een tweetal proefkarteringen uitgevoerd. In het voor u liggende rapport wordt verslag gedaan van de kartering die uitgevoerd is in het Beekdal van de Strijper Aa, ten zuidoosten van Valkenswaard. Alterra heeft een kartering uitgevoerd waarbij de grondwaterstanden voor de niet verdroogde referentiesituatie en de actuele toestand zijn afgeleid van abiotische standplaatskenmerken (bodem en grondwater). Dit onderzoek is mede gefinancierd door de Provincie Noord Brabant. Gelijktijdig zijn door het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO (NITG-TNO), voor beide perioden de kwelkansen onderzocht. Daarover zal apart gerapporteerd worden.

Bij de opzet en uitvoering van het project is er overleg geweest tussen Alterra, Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten, Provincie Noord Brabant en NITG-TNO. Hierdoor hopen we een karteringsmethode ontwikkeld te hebben die voldoende antwoord geeft op de vragen die voor het terreinbeheer van belang zijn. Zoals uit het rapport mag blijken, kan de methode op een aantal punten nog verbeterd worden, maar biedt deze goede mogelijkheden om de verdroging van een natuurgebied vlakdekkend in kaart te brengen.

Bij de uitvoering van dit project zijn diverse mensen betrokken geweest. Het veldwerk is uitgevoerd door Bas van Delft. De tijdreeksanalyse van de grondwaterstanden in peilbuizen is uitgevoerd door Peter Jansen en de voorspelling van GXG-waarden in de boorgaten door Jan Cees Voogd. Bas van Delft heeft de verdere verwerking van de bodem- en grondwatergegevens, het GIS-werk en het grootste deel van de rapportage uitgevoerd. Binnen Alterra is het project inhoudelijk begeleid door Han Runhaar en Tom Hoogland. Dick Brus heeft in een aantal gevallen adviezen gegeven over statistische bewerking van gegevens.

Externe begeleiding is gegeven door Jan Streefkerk (Staatsbosbeheer) en Nicko Straathof (Natuurmonumenten).

Samenvatting

Inleiding

Bij de terreinbeherende instanties, waterschappen en provincies is behoefte aan inzicht in de mate van verdroging van natuurgebieden. In dit rapport wordt een methode gepresenteerd om de mate van verdroging vlakdekkend in kaart te brengen in grote terreinen (enkele honderden tot ca 1000 ha).

Om de mate van verdroging af te kunnen leiden is vlakdekkende informatie nodig over het actuele grondwaterregime (AGR) en over het referentie grondwaterregime (RGR) waarmee het grondwaterregime beschreven wordt in een niet verdroogde referentieperiode. Door deze met elkaar te vergelijken is het mogelijk de verdroging vlakdekkend vast te stellen.

In het projectvoorstel zijn de volgende vragen geformuleerd:

- Hoeveel peilbuizen zijn nodig in een gebied om een vlakdekkende kartering mogelijk te maken.
- Hoeveel tijdelijke meetpunten (boorgaten) zijn noodzakelijk voor een vlakdekkend inzicht in de grondwaterstand.
- Welke hulpinformatie wordt gebruikt, bijvoorbeeld het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN)
- Welke betrouwbaarheid is gewenst en haalbaar
- Hoe kan vlakdekkend de onverdroogde situatie in beeld worden gebracht.

In dit rapport is voor het proefgebied Strijper Aa een aanpak uitgewerkt om bovenstaande vragen te beantwoorden.

Gebiedsbeschrijving

De verdrogingskartering omvat 704 ha van de Boswachterij Leende en Baronie Cranendonck tussen Valkenswaard en Soerendonk (kaart 1).

Het studiegebied ligt in het oostelijk deel van de Centrale Slenk. In de diepe ondergrond komen matig fijne en grindhoudende grove zanden met ingesloten kleilagen voor die tot de Formatie van Sterksel behoren. Deze afzettingen beginnen op een diepte van 10 tot 25 meter. Erboven komen zandige en lemige afzettingen voor van de Formaties van Asten en Eindhoven. De slecht doorlatende afzettingen van de Formatie van Asten zijn ongeveer 1 meter dik en dekken de Formatie van Eindhoven af, behalve waar zij door insnijdingen van smeltwaterrivieren tijdens het Weichselien zijn opgeruimd. De ondiepe ondergrond van het studiegebied bestaat voornamelijk uit dekzanden en fluvioperiglaciale afzettingen die behoren tot de Formatie van Twente. In het dal van de Strijper Aa, met name in De Riesten komen boven het dekzand slecht gesorteerde lemige zanden met lagen beekleem voor, die in het Holocene door deze beek zijn afgezet. Later is dit beekdal verder opgevuld met mesotroof broekveen. In het Leenderbos, de Groote Heide en Langbos komen veel stuifzandgronden voor.

Het grootste deel van het dekzandgebied is een infiltratiegebied met veld- en haarpodzolgronden (kaart 2). In de stuifzandgebieden komen vlak- en duinvaaggronden voor. Rondom de dorpen komen enkeerdgronden voor en in de lagere delen van het dekzandgebied gooreerdgronden en beekerdgronden. In de lage delen van het dal van de Strijper Aa komen veengronden voor.

In het dal van de Strijper Aa zijn problemen met verdroging van natuurterreinen omdat de landbouwgronden in de omgeving sterk ontwaterd zijn. Rond 1900 bestond het studiegebied voor een groot deel uit droge en natte heide, met een groot aantal vennen en weijers (kaart 3). Het brongebied van de Strijper Aa lag oorspronkelijk in de omgeving van Turfwater en het Goor, vanwaar de beek in noordelijke richting stroomde. De belangrijkste afvoer vindt thans niet meer plaats door de Strijper Aa, maar door een gegraven omleiding (kaart 1). In het landbouwgebied bij Witsem wordt sinds 1959 onderbemaling toegepast.

Door Bossenbroek & Streefkerk (1994) is een landschapsecologische indeling gemaakt van het beekdal, waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen een *oorsprongsysteem*, *bovenloopsysteem* en een *middenloopsysteem*.

In 1996 is door Waterschap De Dommel een anti-verdrogingsproject gestart, gericht op het herstel van grondwaterstanden in de middenloop van de Strijper Aa. De grondwaterstanden in het natuurgebied zijn hierdoor gestegen, maar er treedt nog een sterk drainerende werking op van de Oude Strijper Aa, en in mindere mate van de Omleiding.

Materiaal en methode

Voor het vaststellen van de RGR zijn twee verschillende methoden vergeleken. Bij de eerste methode (de 'Brabant methode') wordt de RGR afgeleid van referentiewaarden voor bodemeenheden, gecombineerd met een gedetailleerd hoogtebestand. De tweede methode gaat uit van in boorgaten geschatte waarden voor de RGR, die met behulp van hetzelfde hoogtebestand worden geïnterpoleerd. Voor de AGR zijn ook twee methoden vergeleken, die beide gebaseerd zijn op de voorspelling van GXG-waarden (GHG, GVG en GLG) in boorgaten aan de hand van gerichte metingen in boorgaten en peilbuizen. Deze voorspellingsmethode is ontwikkeld voor karteringen van de grondwaterdynamiek (Finke et al. 1999 en 2002). Voor het vlakdekkend toepassen van de GXG-waarden verschillen de methoden. Bij de eerste methode, die is afgeleid van de Gd-karteringen wordt een relatie toegepast tussen GXG-waarden en hulpinformatie. Hiermee is het mogelijk met een relatief klein aantal puntwaarnemingen uitspraken te doen voor grotere gebieden. Bij de tweede methode zijn de voorspelde waarden op vergelijkbare wijze geïnterpoleerd als bij de RGR.

Als basis hebben we gebruik gemaakt van de digitale bestanden van de Topografische kaart van Nederland, het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN, kaart 4) en de bodemkaart schaal 1 : 10 000 (kaart 2). Voor een deel van het gebied, waar geen 1 : 10 000 bodemkaart beschikbaar was hebben we gebruik gemaakt van de Bodemkaart 1 : 50 000.

In het grondwaterstandenarchief van NITG-TNO (DINO) hebben we een selectie gemaakt van 19 peilbuizen waarvan we de grondwaterstanden vanaf 1990 opgevraagd hebben (kaart 5).

Bij de Gd-methode worden gerichte metingen gedaan binnen 4 hydrologisch homogene deelgebieden of strata. Deze zijn ingedeeld naar grondwaterregime (wel of geen potentiële kwel) en grondgebruik (bos en open gebieden). Binnen deze strata zijn in totaal 120 boorpunten geloot.

In de periode van 5 september tot 16 oktober 2001 zijn op deze 120 locaties boringen verricht tot maximaal 180 cm – mv. (kaart 5) Hiervan zijn profielbeschrijvingen gemaakt. Na minimaal 1 dag is in de boorgaten de grondwaterstand gemeten, terwijl op dezelfde dag in de peilbuizen ook de grondwaterstand is gemeten. In februari 2002 zijn dezelfde gaten opnieuw uitgeoord en opgemeten. In een aantal boorgaten is de pH en de EGV gemeten.

Referentie grondwaterregime

Voor het bepalen van de referentiegrondwaterstanden hebben we twee methoden vergeleken, de ‘Brabantse methode’ en een methode die is gebaseerd op het schatten van de referentiegrondwaterstand in boorgaten.

De ‘Brabantse methode’ is voor de provincie Noord-Brabant ontwikkeld door het Centrum voor Milieukunde Leiden en het TNO-Instituut voor Grondwater en Geo-energie (Van Ek et al., 1997). Op basis van referentiewaarden voor de GXG per bodemeenheid wordt een vlakdekkende voorspelling gedaan van de GXG in een niet verdroogde referentiesituatie. Omdat bij grenzen van bodemeenheden onnatuurlijke sprongen in het grondwaterstandsverloop zouden voorkomen en omdat het grondwaterstandsverloop vlakker is dan het maaiveld, is een vereffening toegepast volgens een methode die is ontwikkeld door Waterschap Reest en Wieden (Projectgroep GGOS en classificatie, 1999). Op de aldus verkregen kaarten is nog een correctie toegepast voor schattingen van de oude GXG die, op basis van de profielbeschrijvingen, gedaan zijn voor de boorgaten.

De tweede methode gaat uit van de hiervoor genoemde veldschattingen en de hoogtekaart. Door inverse afstand gewogen interpolatie (IDW) van de GXGoud ten opzichte van NAP is een vlakdekkende schatting gemaakt van de GXGref.

Uit vergelijking van de twee methodes blijkt dat de ‘Brabantse methode’ te weinig differentiatie weergeeft in de grondwaterstanden. Voor natte delen worden te droge standen voorspeld, en voor droge delen te ondiepe. Bij interpolatie van de schattingen in boorgaten lijkt de variatie beter tot uiting te komen. Daarom hebben we voor deze laatste methode gekozen (kaart 6a, 6b en 6c).

In de oorspronggebieden, bovenloopgebieden en in de natte heide was het in de referentieperiode zeer nat met een GHG aan of boven het maaiveld en een GLG binnen 30 cm – mv. Grote delen van de heide hadden ook vrij ondiepe GHG's tussen 0 en 30 cm – mv. en GLG van 80 tot meer dan 200 cm – mv.

Actuele grondwaterregime

Voor het bepalen van de actuele grondwaterstanden hebben we gebruik gemaakt van de gegevens van peilbuizen, weergegevens, metingen in boorgaten, de hoogtekaart en hulpinformatie die is afgeleid uit de hoogtekaart, de topografische kaart en de bodemkaart.

Om klimaatonafhankelijke grondwaterkarakteristieken af te leiden voor de peilbuizen hebben we een tijdreeksanalyse uitgevoerd met het programma KALMAX uit het pakket VIDENTE (Bierkens & Bron, 2000). Daarbij hebben we grondwaterstandsmetingen in de peilbuizen gebruikt voor de periode van 1990 t/m 2000 en neerslaggegevens van de weerstations Helmond en Eindhoven en verdampingsgegevens van weerstation Eindhoven vanaf 1970.

Op de dagen dat in de boorgaten gerichte metingen zijn verricht hebben we ook de peilbuizen opgemeten. Met deze gegevens zijn regressierelaties afgeleid waarmee de GXG in de boorgaten is voorspeld.

Voor het afleiden van de GXG met de Gd-methode hebben we de relatie afgeleid tussen hulpvariabelen als maaiveldhoogte en drainage dichtheid enerzijds en de GXG in de boorgaten anderzijds. Door het toepassen van deze relaties op de hulpvariabelen in het hele gebied zijn de GXG-waarden vlakdekkend voorspeld.

De tweede methode gaat uit van inverse afstand gewogen interpolatie (IDW) van de GXG waarden ten opzichte van NAP tussen de boorgaten. Ook hiermee is de voorspelling van de GXG vlakdekkend toegepast.

De actuele GXG is op basis van de geïnterpoleerde waarden weergegeven in kaart 7a, 7b en 7c. Grondwaterstanden aan of boven maaiveld voor de GHG nog op vrij grote schaal in het Turfwater, het zuidelijk deel van Witsem, het centrale deel van De Riesten, langs de Zuidelijke bovenloop en bij de Klotvennen. Voor het overige is het gebied droog.

Mate van verdroging

De veranderingen van de grondwaterstanden hebben we bepaald door de GXG in de referentieperiode af te trekken van de actuele GXG. Omdat de GVGref niet uit de boorgaten is af te leiden hebben we deze berekend met een formule die is afgeleid op basis van een groot aantal peilbuizen (Van der Sluijs, 1990). Voor een zinvolle vergelijking hebben we de GVGact op dezelfde wijze afgeleid.

De verandering van GXG is weergegeven in kaart 8a, 8b en 8c. In de natste delen van Turfwater en bij de Klotvennen is een lichte vernatting opgetreden, mogelijk als gevolg van waterconserverende maatregelen. Dit is waarschijnlijk ook de reden dat grote delen van De Riesten voor wat betreft de grondwaterstanden als niet verdroogd gekarteerd zijn.

Op de overgang van natte naar droge delen zijn grote oppervlakten sterk verdroogd. Hierdoor zal ook de hoeveelheid lokale kwel in lagere delen sterk afgenomen zijn.

Effect meetdichtheden

Voor de planning van toekomstige verdrogingskarteringen is het van belang te weten hoeveel waarnemingen nodig zijn om een goede beoordeling van de verdroging te geven.

Het effect van het aantal peilbuizen op de voorspelling van de GXG is onderzocht door te berekenen hoe de standaardfout zou veranderen bij een variabel aantal peilbuizen. Deze blijkt sterk toe te nemen als het aantal peilbuizen kleiner is dan 10.

Om het effect van het aantal boorgaten op de geïnterpoleerde GXG-waarden te onderzoeken hebben we een kwalitatieve vergelijking van het kaartbeeld bij verschillende boordichtheden toegepast en een kwantitatieve benadering op basis van crossvalidatie.

Bij de vergelijking van het kaartbeeld blijkt dat verschillen zich vooral voordoen in de nattere delen, waar als gevolg van een geringere dichtheid de klasse ≤ 0 toeneemt ten kostte van de klassen 0 – 15 en 15 – 30 cm – mv. Dit komt omdat over grotere afstanden wordt geïnterpoleerd.

Bij crossvalidatie wordt de interpolatie net zo vaak herhaald als dat er boorpunten betrokken zijn in de interpolatie. Hierbij wordt steeds één boorpunt weggelaten uit de interpolatie. Voor dit punt wordt verschil (residu) bepaald tussen de geïnterpoleerde waarde en de voorspelde waarde in het punt (kaart 9). Deze residuen zijn voor verschillende boordichtheden vergeleken. Hieruit blijkt dat voor relatief vlakke delen de boordichtheid niet veel invloed heeft op de residuen. Bij reliëfrijke delen nemen de residuen sterk toe als de boordichtheid kleiner is dan 1 boring per 2,5 ha.

Door bij het plannen van de boringen het gebied eerst te stratificeren naar reliëfklassen, kan een variabele boordichtheid gehanteerd worden. In reliëfrijk terrein moet deze minimaal 1 boring per 2,5 ha bedragen, in vlakke gebieden zal de dichtheid afhankelijk moeten zijn van de grootte van een aaneengesloten vlak gebied en de diepte van het grondwater.

Discussie

Bij het bepalen van de RGR is de keuze gevallen op een methode waarbij de GXGoud geschat wordt in boorgaten en vervolgens geïnterpoleerd. Dit vereist wel een goede veldbodemkundige kennis.

De methode voor het bepalen van actuele GXG-waarden via interpolatie tussen boorgaten is geschikt voor middelgrote gebieden. Voor grote gebieden (> 1000 ha) zal deze aanpak te arbeidsintensief zijn, waardoor een benadering zoals bij Gd-karteringen meer in aanmerking komen.

De verdroging is in kaart gebracht door middel van veranderingen in de GXG. Het verdient aanbeveling te onderzoeken hoe meer relevante variabelen als vochtbeschikbaarheid of inundatieduur in kaart gebracht kunnen worden.

Voorwaarde is wel dat dit zowel voor de actuele situatie als de referentiesituatie afgeleid moet kunnen worden.

1 Inleiding

1.1 Doelstelling en achtergrond

Het doel van het onderzoek waarover in dit rapport verslag gedaan wordt, is het ontwikkelen van een methode om de mate van verdroging in grote natuurterreinen (enkele honderden tot ca 1000 hectaren), met voldoende betrouwbaarheid en detail, vlakdekkend in kaart te brengen. Hierbij is het met name van belang te weten welke inspanning noodzakelijk is om een dergelijke kartering tot stand te brengen.

Bij de terreinbeherende instanties, waterschappen en provincies is behoefte aan inzicht in de mate van verdroging van natuurgebieden. Binnen het meetnet verdroging (MBI: MilieuBeleidsIndicator Verdroging; Runhaar et al., 2000) is een methode ontwikkeld om de mate van verdroging te volgen in de locaties die deel uitmaken van het meetnet. Er is echter ook expliciete behoefte aan vlakdekkende informatie.

Om de mate van verdroging af te kunnen leiden is vlakdekkende informatie nodig over het actuele grondwaterregime (AGR), maar ook over de niet verdroogde referentiesituatie. In het kader van MBI en GGOR zijn methoden ontwikkeld om uit bodemeigenschappen het referentie grondwaterregime (RGR) af te leiden. Voor het afleiden van de AGR kan gebruik gemaakt worden van methodes die zijn ontwikkeld voor het afleiden van de grondwaterdynamiek (Gd). Door het combineren van deze methoden is het in principe mogelijk om de verdroging vlakdekkend vast te stellen.

In deze studie is nagegaan op welke manier een Gd-kartering en de bepaling van het referentie grondwaterregime gecombineerd kunnen worden om vlakdekkende uitspraken te doen over de mate van verdroging in natuurterreinen. Hierbij is ook aandacht besteed aan de vraag welke meetdichtheid nodig is om uitspraken te kunnen doen op een voor terreinbeheerders en waterschappen benodigd detailniveau.

De afgelopen jaren is voor een aantal waterschappen de actuele grondwaterdynamiek (Gd) in kaart gebracht, waarbij gerichte opnamen in boorgaten gerelateerd worden aan het grondwaterstandsverloop in peilbuizen en een aantal hulpvariabelen (o.a. maaiveldhoogte, bodemkenmerken en ontwateringpatronen; o.a. Finke et al., 1999 en 2002). Deze Gd-karteringen die zeer grote gebieden beslaan, hebben een te grove schaal om voor natuurterreinen een uitspraak te kunnen doen over de mate van verdroging op een voor het beheer zinvolle schaal. Om hieraan tegemoet te komen worden methodes ontwikkeld om de verdroging meer gedetailleerd in beeld te brengen. Voor een proefgebied van 704 ha in het stroomgebied van de Strijper Aa (NBr) is een verdrogingskartering uitgevoerd die gebaseerd is op een 'mini Gd-kartering'. De hiervoor te ontwikkelen methode moet toepasbaar zijn voor grotere terreinen (vanaf enkele honderden hectaren). Voor kleinere terreinen is de methode naar verhouding bewerkelijk en daardoor relatief duur, omdat de te verrichten

inspanningen niet recht evenredig toenemen met de oppervlakte. De methode maakt gebruik van veel hulpinformatie en statistische methoden, om met een beperkt aantal waarnemingen toch vlakdekkende uitspraken te kunnen doen. Om de vergelijking te kunnen maken hebben we met de verzamelde gegevens ook het grondwaterstandsverloop gekarteerd met een methode die we voor middelgrote natuurgebieden (tot enkele honderden ha) hebben ontwikkeld. Daarbij wordt in grotere mate gebruik gemaakt van metingen in het veld en minder van hulpinformatie (Van Delft et al. 2002a).

Voor kleine gebieden (tot enkele ha), kan in veel gevallen volstaan worden met de MBI-methode, waarbij alleen voor de peilbuizen en de directe omgeving de referentie-grondwatersituatie wordt bepaald en verdrogingsrelaties worden opgesteld, die geldig zijn voor de omgeving van de peilbuizen.

In het projectvoorstel zijn de volgende vragen geformuleerd:

- Hoeveel peilbuizen zijn nodig in een gebied om een vlakdekkende kartering mogelijk te maken.
- Hoeveel tijdelijke meetpunten (boorgaten) zijn noodzakelijk voor een vlakdekkend inzicht in de grondwaterstand.
- Welke hulpinformatie wordt gebruikt, bijvoorbeeld het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN)
- Welke betrouwbaarheid is gewenst en haalbaar
- Hoe kan vlakdekkend de onverdroogde situatie in beeld worden gebracht.

In dit rapport is voor het proefgebied Strijper Aa een aanpak uitgewerkt om bovenstaande vragen te beantwoorden. Op hoofdlijnen komt deze aanpak overeen met die welke voor middelgrote natuurgebieden wordt gevolgd. Het belangrijkste verschil komt voort uit het verschil in oppervlakte. Als bij grotere gebieden gebruik gemaakt wordt van hulpinformatie en statistiek, kan daardoor bezuinigd worden op het aantal meetpunten in het veld. Bij kleinere en middelgrote gebieden is het verzamelen van gegevens in het veld minder kostbaar terwijl voor het verzamelen van hulpinformatie en de statistische verwerking juist relatief veel tijd nodig is. Door de grotere dichtheid van de tijdelijke meetpunten kan bezuinigd worden op de hoeveelheid hulpinformatie en de statistische verwerking. In dit geval willen we spreken van een 'beperkte Gd-kartering'.

1.2 Opzet van de verdrogingskartering en indeling van het rapport

De verdrogingskartering is onder te verdelen in drie stappen. De eerste stap is het vaststellen van het referentie grondwaterregime zonder verdroging (RGR). In de tweede stap is het actuele grondwaterregime (AGR) bepaald. Hierna is door vergelijking van RGR en AGR de mate van verdroging vlakdekkend afgeleid.

In hoofdstuk 2 wordt een korte beschrijving gegeven van het onderzoeksgebied. De methode wordt op hoofdlijnen toegelicht in 3.1, waarna in 3.2 de verzamelde gegevens beschreven worden. In de hoofdstukken 4 en 5 worden de methodes

beschreven die gebruikt zijn om de RGR en de AGR af te leiden. Tevens worden hierbij de resultaten besproken. In hoofdstuk 6 beschrijven we hoe hieruit de verdrogingskaart is afgeleid. Het effect van de meetdichtheden op de resultaten wordt beschreven in hoofdstuk 7. In het laatste hoofdstuk (8) wordt een aantal overwegingen ten aanzien van de verdrogingskartering in grotere natuurgebieden besproken.

Bij dit rapport hoort een CD-ROM, waarop de kaarten zijn geleverd, als Arcview bestanden. Deze kaarten zijn te bekijken door het Arcview project 'Rapport566_1.apr' in de map 'kaarten\' te openen. De kaarten zijn opgenomen als 'view' met het nummer en de titel van de kaart. Tevens is voor elke kaart een Layout aangemaakt die naar een printer verzonden kan worden. Om de gridbestanden te raadplegen heeft u Arcview nodig met de extensie 'Spatial Analyst'. Indien u beschikt over Arcview zonder deze extensie kunt u de kaarten raadplegen in de het project 'Rapport566_1img.apr' in de map 'kaartenimg\''. Voor lezers die niet over Arcview beschikken zijn de kaarten tevens opgenomen als JPG-afbeeldingen in de map JPG\.

1.3 Begrippenkader

In dit rapport wordt een aantal afkortingen en begrippen gebruikt die hieronder worden gedefinieerd:

Grondwaterstand is de stijghoogte ten opzichte van het maaiveld in een boorgat of een peilbuis met ondiepe filterdiepte (in het algemeen minder dan 5 meter onder het maaiveld);

RGR staat voor het Referentie GrondwaterRegime. Hieronder verstaan wij een grondwaterregime, dat representatief is voor de periode vóór de veranderingen in de waterhuishouding die sinds de jaren 50 van de 20^{ste} eeuw zijn doorgevoerd. Verondersteld wordt dat de bodemvorming zoals deze in eenheden van de bodemkaart tot uiting komt indicatief is voor de RGR.

AGR staat voor het Actuele GrondwaterRegime. Dit beschrijft het grondwaterstandsverloop zoals zich dat thans voordoet.

HW3 respectievelijk *LW3* zijn het gemiddelde van de drie hoogste respectievelijk laagste grondwaterstanden die in een hydrologisch jaar (1 april t/m 31 maart) worden gemeten, uitgaande van een tweewekelijkse meetfrequentie;

VG3 is de gemiddelde grondwaterstand op de meetdata 14 maart, 28 maart en 14 april in een bepaald kalenderjaar;

GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand) is gedefinieerd als het gemiddelde van de HW3 over een aaneengesloten periode van tenminste acht jaar waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden. In dit rapport zijn alle gepresenteerde GHG's berekend over 30 jaar (de klimaatperiode);

GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) is gedefinieerd als het gemiddelde van de LW3 over een aaneengesloten periode van tenminste acht jaar waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden. In dit rapport zijn alle gepresenteerde GLG's berekend over 30 jaar (de klimaatperiode);

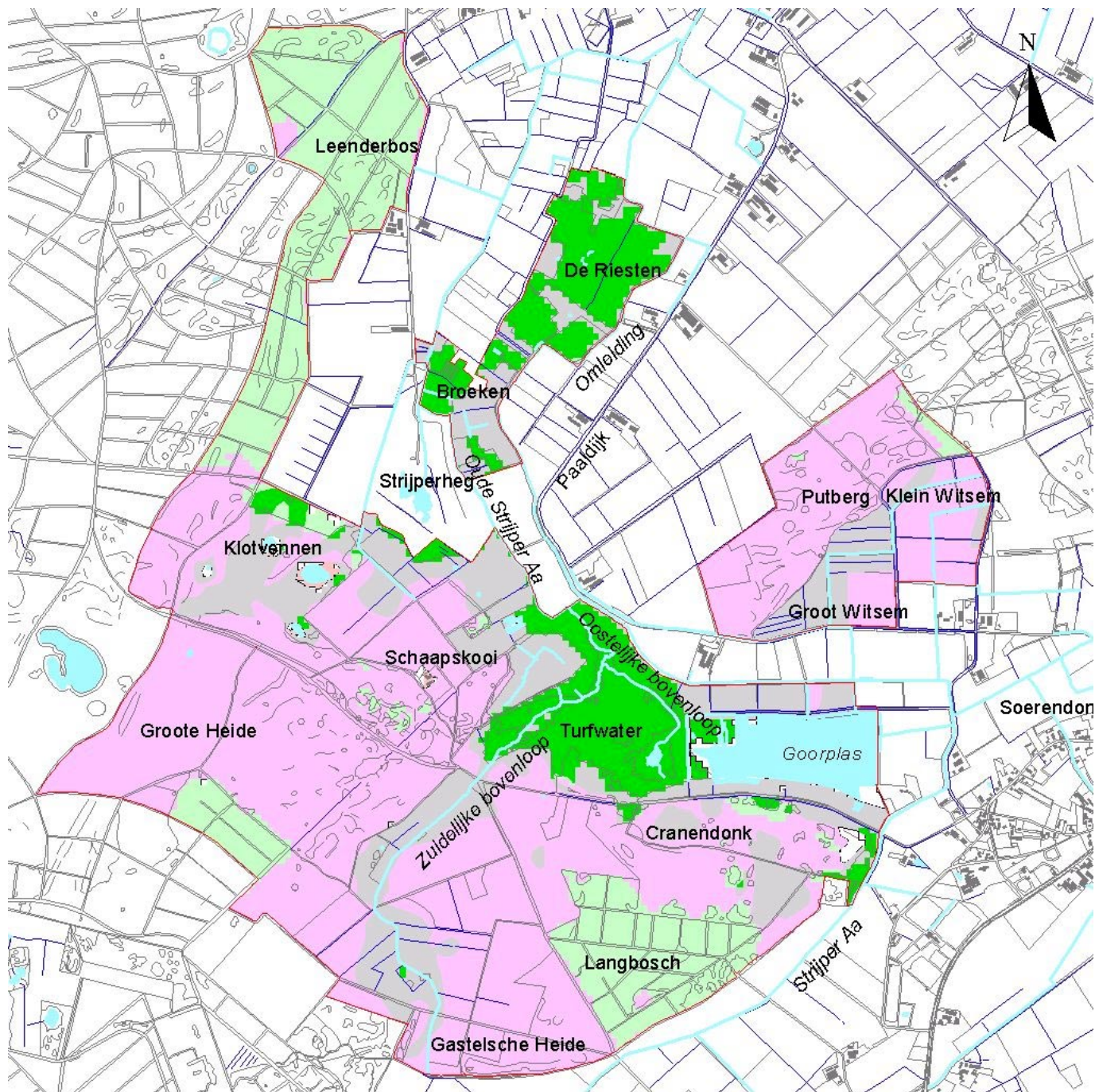
GVG (Gemiddeld VoorjaarsGrondwaterstand) is gedefinieerd als het gemiddelde van de VG3 over een aaneengesloten periode van tenminste acht jaar waarin

geen ingrepen hebben plaatsgevonden. In dit rapport zijn alle gepresenteerde GVG's berekend over 30 jaar (de klimaatperiode);
GXG staat in dit rapport voor GHG, GVG en GLG samen;
GXG_{ref} staat voor de GXG bij de RGR;
GXG_{Goud} staat voor de GXG_{ref} zoals deze in een boorgat is geschat aan de hand van fossiele hydromorfe kenmerken;
GXG_{act} staat voor de GXG bij de AGR
De *Gt* (GrondwaterTrap) is een typische combinatie van GHG- en GLG-klassen welke op thematische kaarten kan worden aangegeven;
De *duurlijn* geeft aan welk deel van het jaar een bepaalde grondwaterstand wordt overschreden;
De *regimecurve* geeft aan wat de verwachte grondwaterstand is op een bepaalde datum in een toekomstig jaar;
De *kwelkans* beschrijft in kwalitatieve zin de kans op het voorkomen van kwel;
De *gd* (GrondwaterDynamiek) is een verzamelterm voor GXG, Gt, duurlijn, regimecurve en kwelklasse.

2 Gebiedbeschrijving

2.1 Gebiedsbegrenzing

In overleg met Staatsbosbeheer is de begrenzing van het studiegebied vastgesteld. Het betreft 704 ha van de Boswachterij Leende en Baronie Cranendonck (zie figuur 1), tussen Valkenswaard en Soerendonk. Het omvat het beekdal van de Strijper Aa, met een deel van het omringende infiltratiegebied, voor zover dit eigendom is van Staatsbosbeheer. Voor de gebiedsbeschrijving beschouwen we een wat groter gebied, omdat daarmee de landschappelijke relaties beter tot uiting gebracht kunnen worden. Het studiegebied ligt op kaartblad 57E van de Topgrafische kaart van Nederland. De begrenzing hiervan komt overeen met figuur 1. Als in de tekst wordt gesproken over ‘Strijper Aa’ bedoelen we de 704 ha waarvoor de verdrogingskartering is uitgevoerd. Als het hele gebied van figuur 1 bedoeld wordt, spreken we over ‘het studiegebied’.



Schaal 1 : 25 000



Figuur 1 Overzicht van het studiegebied van de proefkartering Strijper Aa (zie kaart 1 op CD-ROM).

2.2 Geologie

De geologische opbouw van het gebied wordt hier kort besproken voor zover het relevant is voor het begrip van de patronen in bodem en landschap. Vooral de aan of nabij het oppervlak gelegen afzettingen zijn in dit verband belangrijk. Deze afzettingen stammen voornamelijk uit het Pleistoceen, hoewel de bovenste lagen gedeeltelijk in het Holocene gevormd zijn. Deze beschrijving is gebaseerd op de toelichting bij de bodemkaart 1 : 50 000 (Stiboka, 1972), de bodemkaart van de Boswachterij (Dirkx & Kleijer, 1988), enkele geologische dwarsprofielen van de Rijks Geologische Dienst (1993) en een ecohydrologisch onderzoek van Bossenbroek & Streefkerk (1994).

Het studiegebied ligt in het oostelijk deel van de Centrale Slenk, die in het oosten door de Peelrandbreuk van de Peelhorst wordt afgescheiden. In het westen wordt de Centrale Slenk afgegrensd door de Feldbiss, een breuk die juist ten zuidwesten van de Achelse Kluis in noordwestelijke richting loopt. De Centrale Slenk wordt zelf ook weer doorsneden door een aantal breuken. Ten noorden van het studiegebied loopt de breuk van Sterksel, die van Sterksel, door Leende naar Valkenswaard loopt. Dwars door het studiegebied loopt een breuk van Gastel in de richting van Valkenswaard.

2.2.1 Afzettingen in de diepere ondergrond

In de diepe ondergrond van het gebied komen matig fijne en grindhoudende grove zanden met ingesloten kleilagen voor die tot de Formatie van Sterksel behoren. Het zijn afzettingen van de Rijn, die vooral in het Cromerien zijn afgezet. Dit pakket is 40 à 50 meter dik en begint op een diepte van 10 tot 14 meter ten westen van de breuk en 13 tot 25 meter ten oosten hiervan. Hierop komen zandige en lemige afzettingen voor van de Formaties van Asten en Eindhoven. De Formatie van Eindhoven bestaat over het algemeen uit goed doorlatende fluvioperiglaciale afzettingen en wordt in een groot deel van het studiegebied afgedekt door een ca 1 meter dikke laag veraard veen, leem en fossiele bodems van de Formatie van Asten. Dit pakket is ontstaan in de warme Eemien periode en is slecht doorlatend. Door insnijdingen van smeltwaterrivieren tijdens het Weichselien is dit pakket weer gedeeltelijk opgeruimd. Uit de geologische dwarsdoorsneden (Rijks Geologische Dienst, 1993) blijkt dat midden door het gebied een insnijding ligt, van zuid naar noord, die als het oerdal van de Strijper Aa beschouwd kan worden. Ook in het oostelijk deel van het studiegebied is de afsluitende laag van de Formatie van Asten grotendeels verdwenen. Deze insnijdingen zijn later opgevuld met fluvioperiglaciale afzettingen en dekzand.

2.2.2 Dekzanden en Fluvioperiglaciale afzettingen

De ondiepe ondergrond van het studiegebied bestaat voornamelijk uit dekzanden en fluvioperiglaciale afzettingen die behoren tot de Formatie van Twente. Samen met de formaties van Eindhoven en Asten is dat pakket 11 tot 25 meter dik. Vooral in het

Vroeg-Weichselien werd door sneeuwsmeltwater en water, afkomstig van de zomers ontdooide bovenlaag van de permafrostbodem, veel materiaal verplaatst. Deze fluvioperiglaciale afzettingen bestaan uit zand en leem, dat enige overeenkomst met löss vertoont. Het fluvioperiglaciale zand is over het algemeen matig fijn tot matig grof en beter doorlatend dan de bovenliggende afzettingen. De Oude dekzanden stammen uit het Midden-Weichselien en zijn door verstuiving van zandige afzettingen ontstaan en zijn over het algemeen sterk lemig. In het Laat-Weichselien is opnieuw verstuiving opgetreden, waarbij Jong dekzand werd afgezet, deels in ruggen en koppen. Deze afzettingen zijn meestal leemarm of zwak lemig.

In het Weichselien is hiermee de basis gelegd voor het latere landschap. Dit heeft zich in het Holocene ontwikkeld binnen de kaders van het Pleistocene dekzandlandschap dat bepaald werd door min of meer vlakke dekzandgebieden met hoge ruggen van Jong dekzand. Deze ruggen grenzen vaak aan beekdalen, waardoor mag worden aangenomen dat ze ontstaan zijn op de grens tussen wel en niet stuivende delen. Op de hoogtekkaart (kaart 4) zijn de beekdalen en dekzandruggen duidelijk herkenbaar.

2.2.3 Afzettingen uit het Holocene

In het dal van de Strijper Aa, met name in De Riesten komen boven het dekzand slecht gesorteerde lemige zanden voor, die in het Holocene door deze beek zijn afgezet. In dit zand komen dunne lagen beekleem voor. Later is dit beekdal verder opgevuld met mesotroof broekveen. Zowel de beekafzettingen als dit veen worden tot de Formatie van Singrave gerekend.

In de dekzandgebieden is op grote schaal zandverstuiving opgetreden. Hierdoor komen in het Leenderbos, de Groote Heide en Langbos veel stuifzandgronden voor. Deze afzettingen worden gerekend tot de Formatie van Kootwijk. De meeste van deze stuifzanden zijn door bebossing of natuurlijke successie weer vastgelegd. Lokaal komt op de Groote Heide nog 'levend' stuifzand voor. Met name in dit deel van het studiegebied komen hoge stuizandruggen en -koppen voor, waardoor hoogteverschillen van 3 à 4 meter binnen enkele tientallen meters kunnen optreden (zie kaart 4).

2.3 Bodem

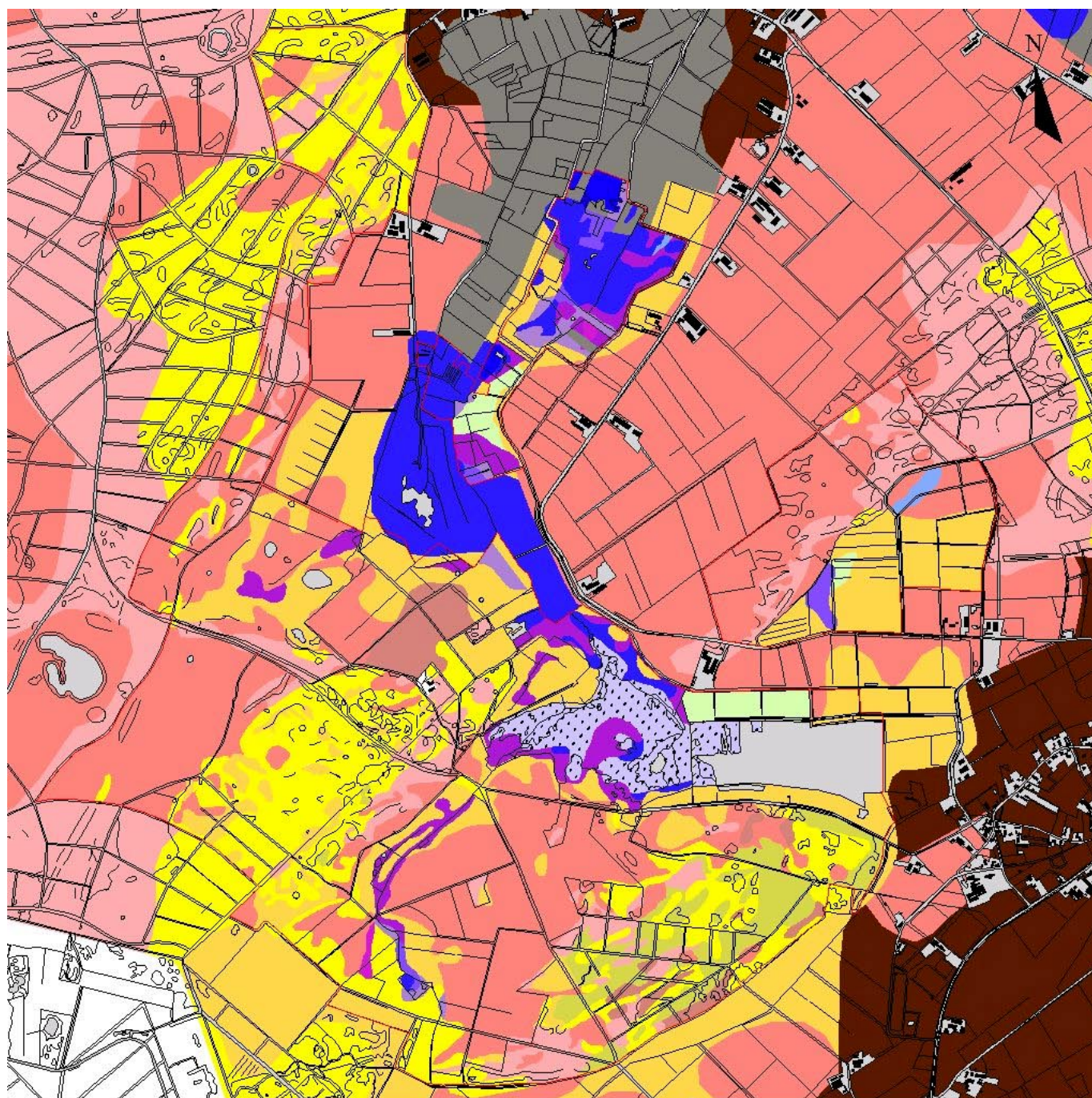
De bodemkaart (figuur 2; kaart 2) weerspiegelt in grote lijnen de geologische opbouw van het gebied. Hiervan geven we een korte beschrijving. Voor een beschrijving van de bodemeenheden verwijzen we naar Dirkx & Kleijer (1988) en Stiboka (1972). In figuur 3 geven we voorbeelden van enkele bodemeenheden in Strijper Aa.

Het grootste deel van het dekzandgebied is een infiltratiegebied. Hier komen in de relatief vlakke delen voornamelijk veldpodzolgronden (Hn.) voor. In de hogere ruggen met jong dekzand vinden we ook haarpodzolgronden (Hd.). Dit is vooral het

geval in het Leenderbos en op de Putberg. De stuifzandgebieden bestaan uit een afwisseling van uitgestoven laagtes met vlakvaaggronden (Zn..) en duinvaaggronden (Zd..). In deze vaaggronden kan een begin van podzolering voorkomen (micropodzol). De vlakvaaggronden zijn vaak uitgestoven tot bij het grondwater. Hier komt vaak ondiep roest voor. In het zuiden, bij de Gastelsche heide, is de zuidelijke bovenloop van de Strijper Aa in het verleden dichtgestoven. Hier komen duinvaaggronden op veen voor, die zich van de overige duinvaaggronden onderscheiden door het geringe reliëf (zie kaart 1) en een, voor stuifzand, hoog organische stofgehalte.

Rondom de dorpen Soerendonk, Leenderstrijp en Gastel komen op vrij grote schaal zwarte enkeerdgronden (zEZ..) voor. In het beekdal van de Strijper Aa tussen Leenderstrijp en De Riesten komen veel Lage enkeerdgronden (EZg..) voor. Deze gronden zijn ontstaan door ophoging van beekdalgronden met van elders aangevoerd materiaal. Door de lage ligging van deze gronden is de bovengrond vaak zeer humeus en soms ijzerhoudend als gevolg van kwelinvloed.

In de lage delen van het dekzandgebied is geen podzolering opgetreden. Hier komen vooral gooreerdgronden (pZn..) voor, die in het grensgebied tussen kwel en infiltratie zijn ontstaan, onder invloed van laterale afstroming van grondwater. In het beekdal zijn ook enkele vlakken met bekeerdgronden (pZg..) gekarteerd, waarin onder invloed van kwel ijzerhoudende bovengronden zijn ontstaan.



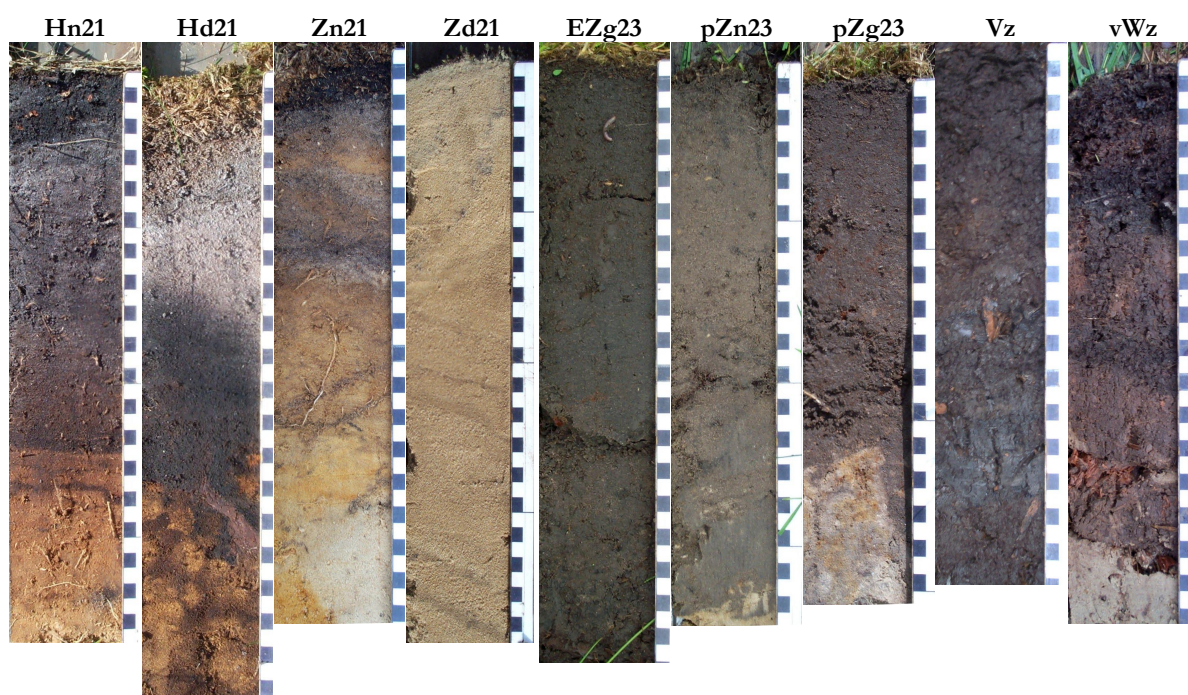
Bodemkaart

	zWz		zEZ21		Zd21
	aVz		Hn21		zEZ23
	zVz		Hn23		pZg21
	Vz		cHn21		pZn21
	Vc		Hd21		pZn23
	vWp		EZg21		Zn21
	vWz		EZg23		Zn23

Overige onderscheidingen

	Moeras
	Strijper Aa (gekarted op schaal 1 : 10 000)

De laaggelegen delen in het dal van de Strijper Aa zijn opgevuld met mesotroof broekveen dat ontstaan is onder invloed van regionale kwel. Hierin komen madeveengronden (aVz), meerveengronden (zVz) en vlierveengronden (Vc en Vz) voor. Bij de vlierveengronden met de code Vz is het veenpakket dikker dan 120 cm. Bij de overige veengronden begint tussen 40 en 120 cm - mv. de zandondergrond. Het Turfwater is grotendeels als moeras gekarteerd. Dit gebied is zeer ontoegankelijk en bestaat grotendeels uit vlietveengronden (Vo). Deze zijn niet gekarteerd. Het ongerijpte veenpakket is hier ongeveer 50 tot 100 cm dik. Op de overgang van de veengronden naar de hoger gelegen minerale gronden komen broekeerdgronden (vWz en zWz) en moerpodzolgronden (vWp) voor.



Figuur 3 Voorbeelden van enkele bodemeenbeden in Strijper Aa.

2.4 Hydrologie

De informatie in deze paragraaf is voornamelijk gebaseerd op een ecohydrologische studie die door Bossenbroek & Streefkerk (1994) werd uitgevoerd.

In het dal van de Strijper Aa zijn problemen met de verdroging van natuurterreinen omdat de landbouwgronden in de omgeving sterk ontwaterd zijn. De broekbossen en vochtige graslanden in De Riesten en de Broeken liggen ingeklemd tussen diep ontwaterde landbouwgronden. Vooral het gebied tussen de Strijper Aa en het Leenderbos is diep gedraineerd, bovendien wordt hier in de zomer gebruik gemaakt van beregeningsinstallaties die gebruik maken van het lokale grondwater.



Schaal 1 : 25 000

Figuur 4 Topografische kaart van ca 1900 (Wieberdink, 1989)

2.4.1.1 Historische situatie

Rond 1900 bestond het studiegebied voor een groot deel uit droge en natte heide, met een groot aantal vennen en weijers (zie figuur 4). Het brongebied van de Strijper Aa lag oorspronkelijk in de omgeving van Turfwater en het Goor. Rond 1900 was reeds een begin gemaakt met de ontwatering van het gebied. Een aantal vennen die

in natuurlijke laagten liggen is met elkaar verbonden en vormt nu de zuidelijke bovenloop (Rijks Geologische Dienst 1993; Iven en Van Gerwen, 1974). Ook de vennen bij Witsem waren in die tijd via het Goor verbonden met de Strijper Aa. Waar de vennen gelegen hebben komen op de bodemkaart nog veen- en moerige gronden voor. In de dertiger jaren is een verbinding gegraven van de Zuidelijke bovenloop met de Beverbeek in België. Deze wordt de Rioolbeek genoemd. In 1974 is in ruilverkavelingsverband de afvoer van de rioolbeek om het gebied heen geleid, vanwege de slechte kwaliteit van het water.

Vanaf de Goorsche Putten begon het eigenlijke beekdal van de Strijper Aa, die langs De Broeken in noordelijke richting langs Leenderstrijp naar Leende stroomt om daar samen te vloeien met de Kleine Aa in de Grote Aa. In dit beekdal komen ook nu nog broekbossen en vochtige graslanden voor.

2.4.1.2 Huidige situatie

De belangrijkste afvoer vindt thans niet meer plaats door de Strijper Aa, maar door een gegraven omleiding. Het water dat vanuit België door de Rioolbeek aangevoerd wordt, wordt langs de zuidoostkant in noordelijke richting geleid tot bij Soerendonk, vanwaar het langs de noordkant van Soerendonks Goor en ten oosten langs De Riesten afgevoerd wordt. In het landbouwgebied bij Witsem en ten noorden van het Goor wordt sinds 1959 onderbemaling toegepast (zie figuur 5). In 1900 lagen hier nog twee grote vennen! Het water van dit gebied wordt afgevoerd via de omleiding. Aanvankelijk werd ook het Goor onderbemalen, maar dat is in 1965 weer ongedaan gemaakt. Ten westen van de Goorplas ligt een dam, waardoor het peil hier kunstmatig hoog gehouden wordt. Het water wordt via twee duikers afgevoerd naar het Turfwater.

De Oude Strijper Aa wordt gevoed door de zuidelijke en oostelijke bovenloop die beiden in het gebied ontstaan. Bij de Broeken komt hier het water bij dat vanuit Strijper Heg wordt aangevoerd.

Uit vergelijking van het isohypsenpatroon van 14-4-1993 leiden Bossenbroek & Streefkerk (1994) af dat zowel de Omleiding als de Oude Strijper Aa een sterke drainerende werking hebben op het freatisch grondwater in De Riesten en de Broeken. Ook in de omgeving van het Langbosch draineert de omleiding sterk.



Figuur 5 Diepe ontwatering in het landbouwgebied bij Witsem.

Beekdalsystemen

Door Bossenbroek & Streefkerk is een landschapsecologische indeling gemaakt van het beekdal. Zij onderscheiden een *oorsprongssysteem*, waar regenwater oppervlakkig via vennen en weijers toestroomt. Dit is in figuur 4 voor de situatie rond 1900 duidelijk te herkennen. Deze zijn thans vrijwel geheel verdwenen door ontginning, ontwatering en bemesting. De gagelstruwelen langs de rand van het Turfwater en de omgeving van Strijperheg kunnen als relictten hiervan beschouwd worden. In de *bovenloopsystemen* stroomt lokaal grondwater toe. Dit is het geval bij de Zuidelijke bovenloop en de laagte bij Witsem. Ook elders, op de overgang van de hogere dekzandruggen naar lager gelegen gronden komt lokale kwel voor. Dit wordt geïllustreerd door figuur 6. Hier is een kwelkrater te zien in een sloot in het landbouwgebied te zuidoosten van de Klotvennen, dicht bij een hoge dekzandrug van de Groote Heide. De bovenloopsystemen in Strijper Aa zijn sterk aangetast door ontwatering en bemesting (zie figuur 5). Het gebied van het Turfwater en het Goor wordt beschouwd als *overgangsgebied tussen bovenloop en middenloopsysteem*. Dit is tevens de overgang tussen lokale en regionale kwel, omdat deze laatste door het voorkomen van de slecht doorlatende laag uit de Formatie van Asten in het oostelijk deel van dit gebied wordt afgeschermd. Het *middenloopsysteem* wordt gekenmerkt door het voorkomen van regionale kwel die westelijk van Turfwater wel in het beekdal voorkomt. In dit deel van het beekdal ontbreekt de Formatie van Asten, waardoor de regionale kwelstroom minder weerstand ondervindt. Onder invloed van deze kwel zijn veengronden en beekerdgronden ontstaan. In De Riesten en De Broeken is nog een restant over van de natte graslanden en broekbossen die kenmerkend zijn voor dit systeem.



Figuur 6 Lokale kwel in een sloot nabij de Klotvennen.

2.4.2 Verdrogingsbestrijding

In 1996 is door Waterschap De Dommel een anti-verdrogingsproject gestart. Dit is met name gericht op het herstel van grondwaterstanden in de middenloop van de Strijper Aa, omdat hier de verdroging het sterkst is (Van de Looy, 1998). Dit deel omvat De Riesten, Strijperheg en Broeken. De drainerende werking van de Omleiding en de Oude Strijper Aa wordt tegengegaan door het verhogen van peilen in deze waterlopen, zonder dat daarbij de functies van het omliggende landbouwgebied worden geschaad. Om dit doel te bereiken is in de jaren vanaf 1996 een monitoring uitgevoerd door het Waterschap die heeft geleid tot het plaatselijk bijstellen van peilen (Jongeneel, 1999). Volgens de evaluatie tot en met 1999 (IWACO, 2000) zijn de grondwaterstanden in het oostelijk deel van De Riesten goed op peil. Aan de westkant en bij Broeken zijn ze te laag. De grondwaterstanden in het natuurgebied zijn gestegen, maar er treedt nog een sterk drainerende werking op van de Oude Strijper Aa, en in mindere mate van de Omleiding.

Uit de analyse van stijghoogte verschillen is gebleken dat in het centrale deel van De Riesten enige kwel optreedt, maar verder naar het zuiden, in Strijperheg voornamelijk infiltratie.

Een verdere verbetering van de situatie lijkt voorlopig moeilijk te realiseren vanwege het voorkomen van landbouwgronden in de directe omgeving die te veel hinder zouden ondervinden van hogere grondwaterstanden.

3 Materiaal en methode

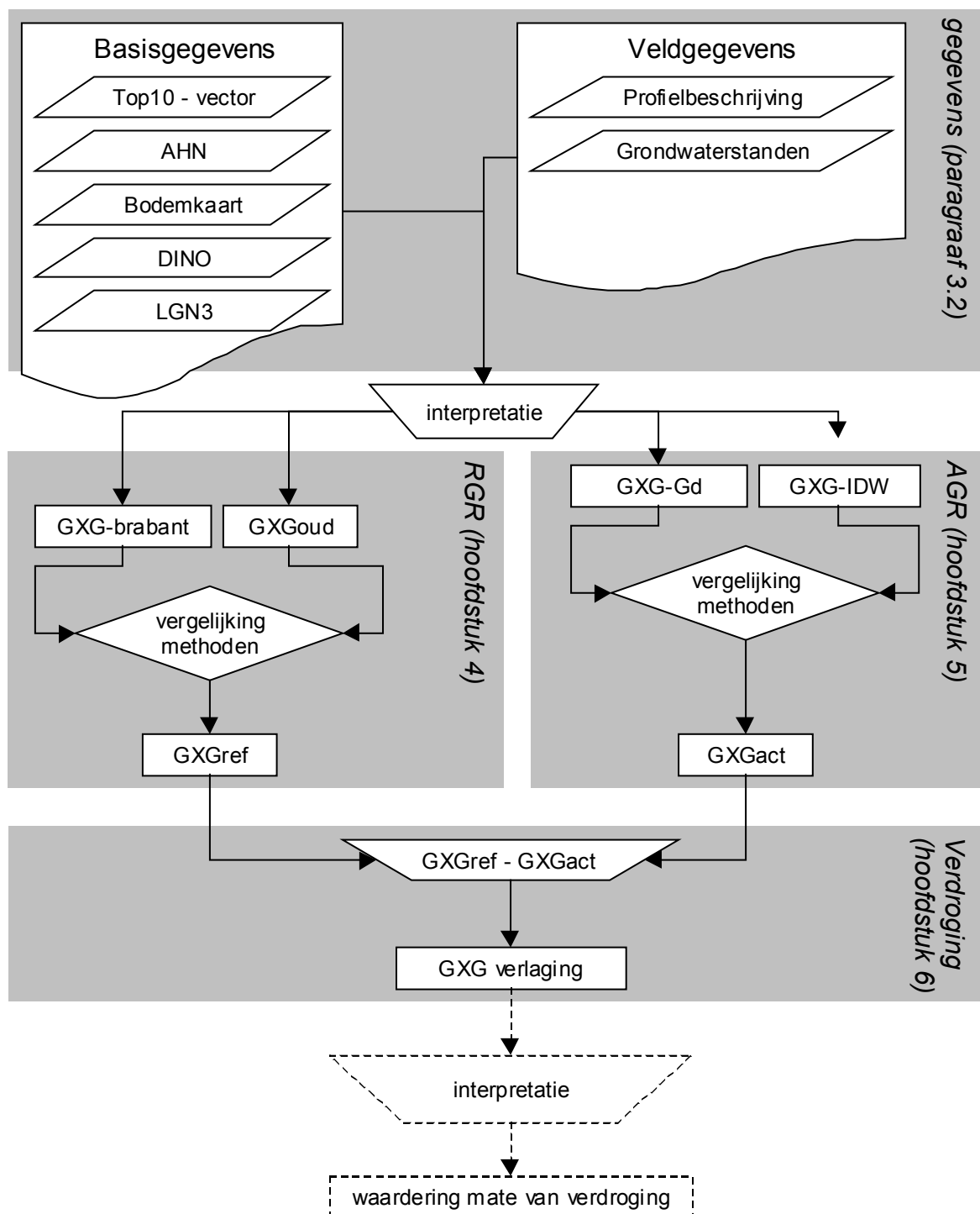
3.1 Methode op hoofdlijnen

In figuur 7 wordt de methode op hoofdlijnen schematisch weergegeven. In het bovenste vak is aangegeven welke gegevens verzameld zijn. Deels zijn dit basisgegevens die uit bestaande bestanden kunnen worden afgeleid. Verder zijn in het veld aanvullende gegevens verzameld. De verzamelde gegevens over maaiveldhoogte, bodem en grondwater zijn in de eerste fase van de verwerking geïnterpreteerd om het grondwaterregime in de referentieperiode (RGR) en voor de actuele situatie (AGR) vast te stellen. Voor beide perioden zijn twee methoden vergeleken.

Voor het bepalen van de RGR hebben we de ‘Brabantse methode’ vergeleken met een interpolatie dmv. ‘Inverse Distance Weighting’ (IDW). Bij de Brabantse methode worden GXG waarden afgeleid uit een combinatie van referentiewaarden per bodemeenheid en de hoogtekaart (zie 4.1). Bij interpolatie wordt gebruik gemaakt van schattingen van de oude GXG aan de hand van profielbeschrijvingen (zie 4.2). Door deze schattingen op basis van de hoogtekaart om te rekenen naar NAP en vervolgens de interpolatie uit te voeren ontstaat een beeld van het referentiegrondwaterregime ten opzichte van NAP.

Bij het bepalen van de AGR is voor de boorgaten een voorspelling gedaan van de actuele GXG waarden. Hiervoor zijn voor de peilbuizen klimaatonafhankelijke GXG waarden berekend (5.1.1). Vervolgens is voor de dagen dat gerichte grondwaterstandsmetingen verricht zijn een relatie gezocht tussen de grondwaterstand op die dagen en de GXG. Op basis van die relatie en de gerichte metingen in de boorgaten wordt de GXG in de boorgaten voorspeld (5.1.2). Om een vlakdekkende voorspelling te doen van de GXG zijn twee verschillende methoden vergeleken. De eerste methode is vergelijkbaar met de methode voor Gd-karteringen (Finke et al., 1999 & 2002). Hierbij wordt een relatie gezocht tussen de voorspelde GXG waarde in de boorgaten en hulpinformatie zoals relatieve hoogte en ontwateringsdichtheid. Deze methode is ontwikkeld om in grote gebieden, met relatief weinig veldwaarnemingen de Gd vlakdekkend in kaart te brengen. Bij de tweede methode worden de voorspelde GXG waarden in de boorgaten doormiddel van IDW-interpolatie vlakdekkend toegepast. Deze methode is ontwikkeld voor verdrogingskarteringen in middelgrote gebieden (Van Delft et al., 2002a). Voor de interpolatie zullen, afhankelijk van de grootte van het gebied, relatief meer veldwaarnemingen nodig zijn, dan voor de kartering met de Gd-methode. Daar staat tegenover dat de verwerking eenvoudiger is.

Om de mate van verdroging af te leiden zijn de GXG waarden voor beide perioden van elkaar af getrokken.



Figuur 7 Schematisch overzicht van de werkwijze.

In dit project is de mate van verdroging afgeleid, uitgedrukt in cm verlaging van de GXG. Een waardering in de zin van ‘sterk’ of ‘minder sterk verdroogd’ is hierbij niet gegeven.

3.2 Gegevensverzameling

3.2.1 Basisgegevens

Bij het afleiden van de RGR en de AGR is gebruik gemaakt van bestaande basisgegevens en van veldwaarnemingen. De volgende basisgegevens zijn gebruikt:

topografische kaart

Als basis voor de kaarten die in dit rapport zijn opgenomen is gebruik gemaakt van de digitale bestanden van de Topografische kaart van Nederland, schaal 1 : 10 000 (Top10 vector bestand). De attribootinformatie van het vlakkenbestand is gebruikt om terreindelen te selecteren die uitgesloten moeten worden van de analyse omdat deze niet in het onderzoek worden betrokken (bebouwing, wegen, dijken, wateroppervlakten). Op basis hiervan hebben we een uitsnede (clip) gemaakt uit de bodemkaart (figuur 2; kaart 2).

In het lijnenbestand zijn de waterlopen geselecteerd voor het afleiden van hulpinformatie zoals drooglegging en slootdichtheden (zie 5.1.3).

Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN)

De maaiveldhoogte is gebiedsdekkend vastgelegd op de hoogtekaart (kaart 4) die is gebaseerd op het AHN met een celgrootte van 5 x 5 meter.

In het AHN bestand kwamen gaten voor waar geen hoogte bepaald is. Als dit voorkomt binnen delen van het gebied die uitgesloten zijn van de analyse (bebouwing, wateroppervlakten) is dat geen probleem. Daarbuiten ontstaan echter wel problemen bij het vereffenen van de RGR (zie 4.1). Om dat te voorkomen hebben we voor deze 'No Data' cellen een hoogte berekend op basis van de gemiddelde hoogte van de buurcellen.

Bodemkaart

Als basis voor het afleiden van de RGR dient de bodemkaart. Van een groot deel van het gebied is een bodemkaart schaal 1 : 10 000 beschikbaar (Dirkx & Kleijer, 1988). Voor zover de kaart samenvalt met het deelgebied Strijper Aa is deze kaart gedigitaliseerd. Voor de rest van het gebied hebben we gebruik gemaakt van de bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000 (Stiboka 1972). De mate van detail van deze kaart is eigenlijk niet voldoende om te gebruiken op een kaartschaal 1 : 10 000. Het gaat hier echter om een deel van het studiegebied dat buiten het deelgebied Strijper Aa valt. De eenheden van de gedetailleerde bodemkaart zijn vertaald naar de eenheden van de bodemkaart van Nederland. Voor een toelichting op de bodemeenheden verwijzen we naar de toelichting op de bodemkaart schaal 1 : 50 000 (De Bakker en Schelling 1989, Bodemkaart 1972, Dirkx & Kleijer 1988) Omdat op een aantal plaatsen de begrenzing van vlakken met water niet overeenkwam met de topografische kaart zijn deze vlakken aangepast aan de topografische kaart schaal 1 : 10 000. De bodemkaart wordt in figuur 2 weergegeven op schaal 1 : 25 000.

3.2.2 Selectie peilbuizen

In het grondwaterstanden archief NITG-TNO (DINO) is een selectie gemaakt van beschikbare buizen binnen het gebied. Hierbij werden de volgende criteria gehanteerd:

- Filterdiepte maximaal 6 meter
- Opnamefrequentie minimaal 18 keer per jaar
- Een aaneengesloten meetreeks van minimaal (1,5) 4 jaar doorlopend tot minimaal een half jaar voor het begin van de kartering

Op basis van het eerste criterium is een selectie gemaakt van buizen in DINO, waarna gecontroleerd is of ze aan de andere criteria voldoen. Hierna bleef een selectie van 19 buizen over. Bij controle in het veld bleek dat voor een deel van de buizen de coördinaten in DINO niet overeenkwam met de werkelijke positie in het veld. Dit kan problemen opleveren bij het afleiden van de AGR. De locatie van de buizen is met een GPS-ontvanger opnieuw ingemeten en zonodig aangepast op de kaarten.

De ligging van de buizen is weergegeven in kaart 5. De peilbuizen komen verspreid in het studiegebied voor. De dichtheid is het grootst bij De Riesten en Strijperheg. In de rest van het gebied is de dichtheid lager.

Voor de geselecteerde buizen is een tijdreeksanalyse uitgevoerd om een klimaatsonafhankelijke schatting van de grondwaterdynamiek af te leiden. Tijdens de veldwerkperiode zijn op de dagen dat de grondwaterstanden in de boorgaten gemeten zijn, tevens de standen in deze buizen opgemeten.

3.2.3 Veldwaarnemingen

Om gebiedsdekkend de RGR en de AGR in kaart te kunnen brengen zijn 120 boringen uitgevoerd. Aanvullend zijn zichtbare kwelverschijnselen in waterlopen in kaart gebracht en waterkwaliteitsmetingen verricht en watermonsters genomen.

3.2.3.1 Stratificatie

De selectie van de boorpunten is gebaseerd op de methode voor de Gd-karteringen (Finke et al., 1999 & 2002). Bij deze methode worden gerichte metingen gedaan binnen hydrologisch homogene deelgebieden of strata. Wij hebben het gebied 'Strijper Aa' opgedeeld in 4 strata (zie figuur 1). Dit is in twee stappen gedaan. In de eerste stap hebben we op basis van de bodemkaart (figuur 2), onderscheid gemaakt tussen infiltratiegebieden en (mogelijke) kwelgebieden. Vervolgens hebben we deze strata aan de hand van het LGN3 bestand verder opgedeeld in gebieden met bos en open gebieden, omdat hier als gevolg van verschillen in verdamping, een verschillend grondwaterregime kan voorkomen. De strata verschillen sterk in grootte (zie tabel 1).

Tabel 1 Oppervlakte en boringsdichtheid van de strata.

	Oppervlakte (ha)			Aantal boringen (N)			Dichtheid (ha/N)		
	Bos (1.)	Open (2.)	Totaal	Bos (1.)	Open (2.)	Totaal	Bos (1.)	Open (2.)	Totaal
Infiltratie (.1)	132,7	347,4	480,1	25	45	70	5,3	7,7	6,9
Kwel (.2)	78,9	119,5	198,4	25	25	50	3,2	4,8	4,0
Totaal	211,6	466,9	678,5	50	70	120	4,3	6,7	5,9
Niet beoordeeld			21,1						

3.2.3.2 Selectie van de boorpunten

Per stratum zijn gemiddeld 30 boorpunten geloot (zie tabel 1). De strata zijn gecodeerd met code die uit twee cijfers bestaat. Het eerste cijfer geeft aan of het bos (1.) of een open gebied (2.) betreft, het tweede cijfer geeft aan of het in een infiltratie- (1.) of een potentieel kwelgebied (2.) ligt. Omdat het stratum 21 (Open gebied met infiltratie) veel groter is dan de andere strata, hebben we hier 45 punten geloot en in de andere strata 25. Hiermee is de gemiddelde boringsdichtheid 1 boring per 5,9 ha. De dichtheid voor de natte strata (12 en 22) is het hoogst, met gemiddeld 1 boring per 4 ha. In de infiltratiegebieden bedraagt de gemiddelde boringsdichtheid 1 boring per 6,9 ha. Bij de loting hebben we er voor gezorgd dat de boorpunten zo gelijk mogelijk over het deelgebied en de voorkomende maaiveldhoogten verspreid zijn. Hierbij zijn we als volgt te werk gegaan:

1. Met het top10-vectorbestand en het AHN is een kaart van de drooglegging gemaakt (zie 5.1.3).
2. Alle per cel berekende droogleggingen worden per stratum gesorteerd van nat (ondiep) naar droog (diep)
3. De lijst met gesorteerde droogleggingen wordt in evenveel klassen opgesplitst als het aantal boorgaten dat in het stratum is gepland. In de strata met mogelijke kwel (12 en 22) zijn deze klassen kleiner bij 'natte' dan bij 'droge' droogleggingen. Hiermee wordt geforceerd dat er voldoende waarnemingen in natte terreindelen worden gedaan. In de andere strata zijn alle klassen even groot, omdat anders een scheve verdeling binnen het stratum zou ontstaan.
4. Per klasse wordt door een random trekking uit de lijst met cellen één waarnemingslocatie geloot en 2 reserve locaties op voldoende afstand.

3.2.3.3 Waarnemingen in boorgaten

In de periode van 5 september tot 16 oktober 2001 zijn op 120 locaties boringen verricht. Als de 1^{ste} locatie niet voldeed, omdat hij net in een greppel ligt, of fysiek onbereikbaar is, is één van de reserve locaties gekozen. Dit laatste is enkele keren voorgekomen in het moeras in Turfwater. De ligging van deze boorpunten staat op kaart 5. De locatie van de boorpunten hebben we met een GPS-ontvanger opgezocht. Als de locatie geschikt bevonden is werd een boring uitgevoerd tot

maximaal 250 cm – mv. Van deze boringen zijn profielbeschrijvingen gemaakt, waarbij speciaal aandacht is besteed aan de volgende kenmerken:

- Hydromorfe kenmerken, zowel actueel als fossiel
- Het voorkomen van ijzerrijke horizonten
- Het voorkomen van kalkrijke horizonten
- De pH van de bovenste horizonten, bepaald met indicatorstrookjes. Deze geven een indicatie voor de pH-KCl van de grond.
- Het humusprofiel.

Uit de hydromorfe kenmerken hebben we, voor zover mogelijk, een inschatting gemaakt van de huidige en de oude GHG en GLG. Het voorkomen van ijzerrijke en kalkrijke horizonten is een aanwijzing voor het voorkomen van kwel. Zeker het ondiep voorkomen van kalkrijke lagen wijst op actuele kwel, omdat bij een profiel waar vroeger wel kwel voorkwam, maar waar nu infiltratie overheerst, de kalk als eerste zal uitspoelen. In de Strijper Aa hebben we nergens kalkrijke horizonten aangetroffen, en maar op één plek een ijzerrijke horizont. Deze informatie hebben we daarom niet in het rapport opgenomen. De pH van de bovengrond is vaak een goede indicator voor de aanwezigheid van kwel. Het humusprofiel is beschreven omdat dit vaak een goede indicatie geeft van de toestand van de standplaats ten aanzien van verdroging en verzuring (Van Delft 2001, Van Delft et al. 2002b).

In de boorgaten zijn na minimaal 1 dag de grondwaterstanden gemeten. Deze grondwaterstanden zijn gebruikt om de actuele GLG te voorspellen op basis van de metingen in de peilbuizen op dezelfde dagen en de voor deze buizen afgeleide GLG. In een aantal gevallen is ook de pH en de EGV van het water in het boorgat gemeten. In februari 2002 zijn dezelfde gaten opnieuw uitgeboord en opgemeten om de GHG te kunnen voorspellen.

De waarnemingen in de boorgaten zijn opgenomen in aanhangsel 1.

4 Referentie grondwaterregime

Voor het bepalen van de referentie grondwaterstanden hebben we twee methoden vergeleken, de 'Brabantse methode' en een methode die is gebaseerd op het schatten van de referentiegrondwaterstand in boorgaten.

4.1 Referentie grondwaterstanden volgens de Brabantse methode

Door het Centrum voor Milieukunde Leiden en het TNO-Instituut voor Grondwater en Geo-energie is voor de provincie Noord-Brabant een methode ontwikkeld waarmee de natuurlijke referentie-situatie bepaald kan worden op basis van abiotische kenmerken als bodem(genese), maaiveldhoogte en positie in het watersysteem (Van Ek et al., 1997). Uitgangspunt is dat de veelal fossiele hydromorfe bodemkenmerken een goed beeld geven van de vroegere hydrologische situatie. Met name in de pleistocene gebieden lijkt dat het geval te zijn. In de volgende paragrafen wordt uitgelegd hoe deze methode is toegepast om uit de bodemkaart het Referentie GrondwaterRegime (RGR) af te leiden.

De GXG in de referentieperiode is afgeleid van referentiewaarden voor de voorkomende bodemeenheden en de maaiveldhoogte volgens het AHN-bestand.

Door Van Ek et al. (1997) zijn bodemeenheden die in Noord-Brabant voorkomen hydrologisch gekarakteriseerd op basis van bodemkundige literatuur en deskundigenoordeel. Door Jansen et al. (1999) is deze lijst uitgebreid voor ontbrekende eenheden van de bodemkaart schaal 1 : 50 000. Bij de hydrologische karakterisering is uitgegaan van een 'natuurlijke' situatie waarin pedogenese en hydrologie in evenwicht verkeren. De referentie GXG (GXGref) is per bodemeenheid gekarakteriseerd in termen van percentielen. Voor de bodemeenheden binnen het studiegebied zijn de referentiewaarden weergegeven in tabel 2.

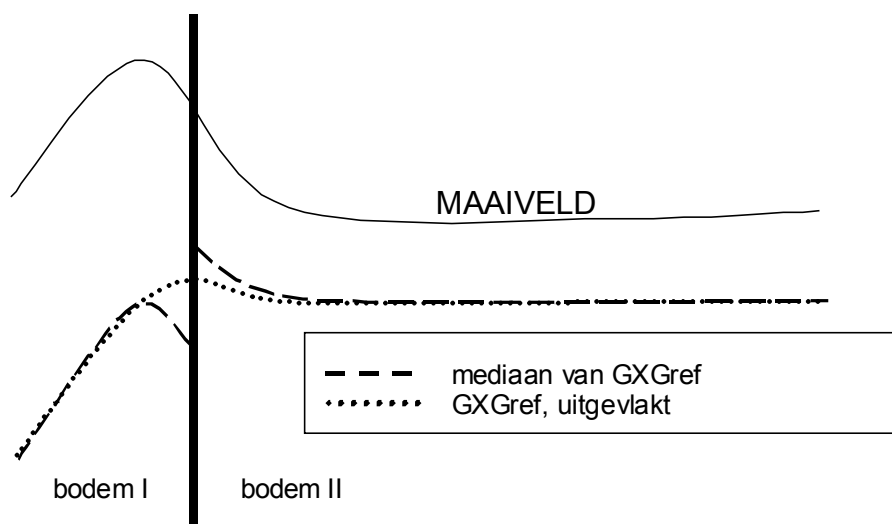
Tabel 2 referentiewaarden voor de GXG bij bodemeenheden in het studiegebied.

Bodemeenheid	GHG		GVG			GLG			
	P10	P50	P90	P10	P50	P90	P10	P50	P90
<i>Veengronden</i>									
aVz	-12	-2	9	-7	7	22	24	40	68
Moeras	-13	-5	3	-10	1	11	17	29	41
Vc	-13	-5	3	-10	1	11	17	29	41
Vz	-13	-5	3	-10	1	11	17	29	41
zVz	-13	-5	3	-10	1	11	17	29	41
<i>Moerige gronden</i>									
vWp	-7	5	13	0	17	27	32	60	76
vWz	-12	-2	9	-7	7	22	24	40	68
zWz	-11	2	12	-5	12	26	26	50	74
<i>Gooreerd- en vlakvaaggronden</i>									
pZn21	2	9	26	17	27	46	64	79	110
pZn23	2	9	26	17	27	46	64	79	110
Zn21	5	19	36	17	38	59	60	100	147
Zn23	5	19	36	17	38	59	60	100	147
<i>Beekeerdgronden</i>									
pZg21	-11	2	12	-1	16	30	36	60	84
<i>Veld- en Laarpodzolgronden</i>									
Hn21	14	27	40	31	48	67	88	120	152
Hn23	14	27	40	31	48	67	88	120	152
cHn21	14	27	40	31	48	67	88	120	152
<i>Enkeerdgronden</i>									
EZg21	3	14	34	14	28	53	56	80	112
EZg23	3	14	34	14	28	53	56	80	112
zEZ21	40	63	135	57	82	163	120	143	230
zEZ23	40	63	135	57	82	163	120	143	230
<i>Haarpodzol- en Duinvaaggronden</i>									
Hd21	91	135	179	113	163	213	174	230	286
Zd21	60	121	176	80	147	209	140	213	283

Vereffening

Door de GXGref af te trekken van de maaiveldhoogte in het AHN bestand wordt een absolute GXGref ten opzichte van NAP verkregen. Als gevolg van de scherpe overgangen tussen de bodemeenheden kunnen de overgangen tussen de vlakken met verschillende referentiegrondwaterstanden groot zijn. Daarnaast wordt geen rekening gehouden met differentiatie binnen het vlak als gevolg van oneffenheden in het maaiveldverloop (figuur 8).

Om een meer realistisch beeld te krijgen wordt het grondwaterstandsverloop uitgevlakt (vereffend). Daarvoor wordt gebruik gemaakt van een door het Waterschap Reest en Wieden ontwikkelde GIS-bewerking van gridbestanden van de maaiveldhoogte en de referentiegrondwaterstanden (Projectgroep GGOS en classificatie, 1999). Als gridgrootte is 5 x 5 m gekozen.



Figuur 8 Uitvlakking van de referentiegrondwaterstand

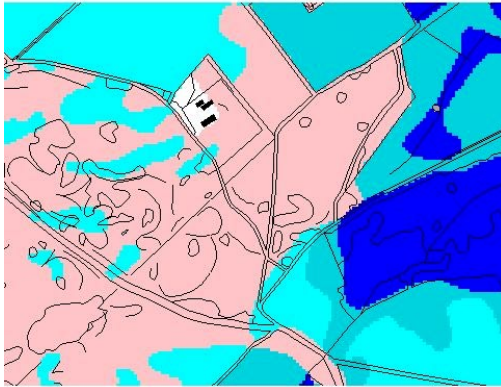
Deze bewerking is in een aantal stappen verdeeld:

1. Bij de eerste bewerking worden de referentiekaarten die uit de bodemkaart van figuur 2 zijn afgeleid vergrid. Voor ieder grid wordt de referentiegrondwaterstand van de maaiveldhoogte afgetrokken en zo de stand ten opzichte van NAP berekend. Als referentiegrondwaterstand is voor de mediane stand (50-percentiel) gekozen. Dat wil zeggen dat binnen de betreffende bodemeenheid 50 % van de oppervlakte een diepere en 50 % een ondiepere GXGref zal hebben.
2. Vervolgens wordt binnen het GIS de 'focal mean' berekend. Bij die bewerking wordt om elke gridcel een cirkel met een bepaalde zoekstraal getrokken en voor de gridcellen binnen die cirkel de gemiddelde grondwaterstand berekend. De gemiddelde stand wordt aan de centrale gridcel toegekend. De mate van afvlakking is afhankelijk van de grootte van de zoekstraal. Hier is gekozen voor een zoekstraal van 25 m. Er wordt gebruik gemaakt van een gewogen gemiddelde, waarbij aan de bodemtypen met een grote spreiding in de karakteristieke grondwaterstanden een lager gewicht is toegekend. De spreiding wordt gedefinieerd als het verschil tussen de hoogst mogelijke grondwaterstand (90 percentiel) en de laagst mogelijke grondwaterstand (10 percentiel). Dit zijn P90 en P10 in tabel 1. Aan het kleinste verschil wordt een hoog gewicht toegekend (waarde 10) en aan het grootse verschil een laag gewicht (waarde 1). Aan tussenliggende verschillen wordt een evenredige waarde toegekend. Bij de berekening van de uitvlakking wordt de NAP-hoogte van de grondwaterstand in de gridcellen binnen de zoekcirkel vermenigvuldigd met de gewichtsfactor. De som van deze gridcellen wordt gedeeld door de som van de gewichtsfactoren en levert een gewogen gemiddelde op voor de middelste gridcel. De gewogen berekening van de uitvlakking zorgt ervoor dat bij een klein verschil tussen hoogste en laagste stand de aanpassing het kleinst is en dat de aanpassing toeneemt naarmate het verschil groter wordt.

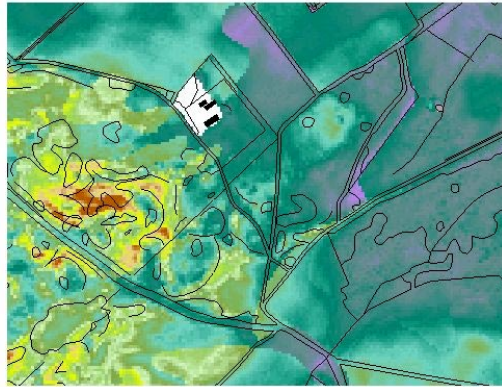
3. Als laatste stap in de berekening wordt de uitgevlakte grondwaterstand ten opzichte van NAP weer omgerekend naar de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld. De bewerkingen worden uitgevoerd voor de GHG en GLG.

Voor een detailgebiedje rondom de Schaapskooi wordt in figuur 9 aan de hand van de bewerkingstadien voor de GHG geïllustreerd wat het effect van de vereffening is. De referentiegrondwaterstand zoals die uit de bodemkaart is afgeleid volgt de grenzen van de bodemeenheden en laat grote vlakken zien die in dezelfde grondwaterklassen vallen (figuur 9A). Vervolgens wordt de grondwaterstand tov van maaiveld van de maaiveldhoogte tov van NAP afgetrokken waardoor een gedifferentieerd beeld van de grondwaterstand tov NAP ontstaat (figuur 9B). De grondwaterstand tov NAP wordt vereffend wat een gelijkmatiger beeld oplevert (figuur 9C). In deze kaart zijn nog duidelijk de bodemgrenzen te herkennen door een scherp verloop van de grondwaterstand. Tot slot wordt de vereffende grondwaterstand tov NAP weer omgerekend naar de grondwaterstand tov maaiveld (figuur 9D). In figuur 9E en 9F is de correctie voor veldschattingen uitgewerkt (zie 4.1.1).

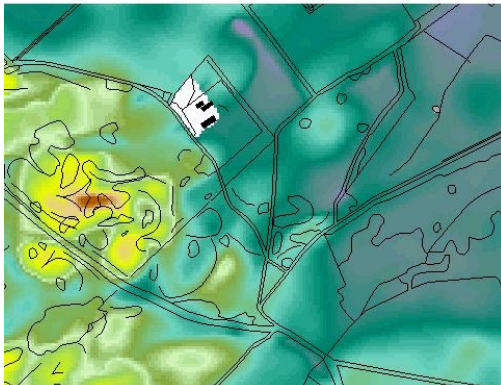
A. Referentie GHG, relatief



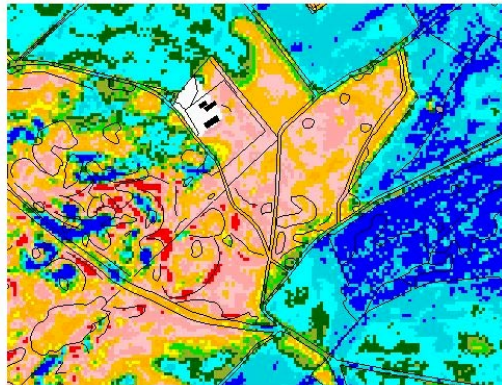
B. Referentie GHG, absoluut



C. Referentie GHG, absoluut, na vereffening



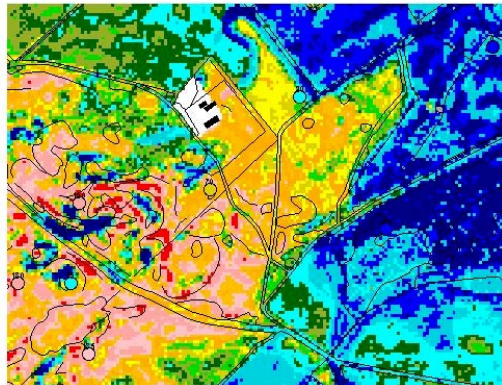
D. Referentie GHG, relatief, na vereffening



E. Referentie GHG, residu per boorpunt



F. Referentie GHG, gecorrigeerd



Figuur 9 Uitwerking van de vereffening van de GHG en de correctie voor veldschattingen in een deelgebied (legenda's zie figuur 10)

4.1.1 Correctie voor veldschattingen

De GXGref zoals die bepaald is volgens de in de vorige paragraaf beschreven methode, is afgeleid van landelijk geldende verdelingen van GXGref zoals weergegeven in tabel 2. Door lokale verschillen kunnen hier echter afwijkingen in zitten binnen een concreet studiegebied (zie tabel 3). In Strijper Aa komen bijvoorbeeld moerige gronden en beekerdgronden voor, waardoor de in het veld uit fossiele hydromorfe kenmerken afgeleide GXGoud dieper is dan de mediaan in tabel

2. Bij de haarpodzol- en duinvaaggronden in Strijper Aa is de GXGoud gemiddeld juist ondieper dan GXGref. Omdat bij de profielbeschrijvingen de GXGoud geschat is, kan per boorpunt bepaald worden wat de afwijking is tussen deze geschatte GXGoud en de GXGref zoals die is afgeleid. Deze afwijkingen noemen we residuen. In figuur 9E zijn voor een aantal van deze boorpunten de residuen geplot. Hier is te zien dat er een grote spreiding kan zitten in deze residuen.

Deze residuen zijn gebruikt om de schatting van GXGref te verbeteren. Hiervoor hebben we binnen Beekvliet door middel van kriging de residuen vlakdekkend geschat en opgeteld bij de reeds bepaalde GXGref.

Kriging op residuen

Kriging is een geostatistische interpolatiemethode waarbij ervan uit gegaan wordt, dat punten op een korte afstand minder van elkaar zullen verschillen dan punten op grotere afstand (Isaaks & Mohan Srivastava, 1989, Deutsch & Journel, 1998). Het verband tussen deze verschillen (de variantie) en de afstand wordt uitgezet in een zgn. experimenteel semivariogram. Door de punten van dit semivariogram wordt een functie gefit die dit verband beschrijft. Bij kriging worden de parameters van deze functie gebruikt om door middel van interpolatie de waarden voor de punten waar geen waarneming gedaan is te voorspellen.

De residuen voor de GXGref zijn sterk gecorreleerd aan de bodemeenheid (zie tabel 2). Daarnaast kunnen ruimtelijke patronen voorkomen in de residuen die het gevolg zijn van andere factoren. Door de invloed van de bodemtypen, zal een eventuele ruimtelijke variatie onvoldoende in beeld komen. Daarom hebben we de residuen volgens vergelijking 1 gestandaardiseerd voor het gemiddelde en de standaardafwijking van de residuen per groep van bodemeenheden. Hiermee wordt de invloed van de bodemeenheden op de residuen uitgeschakeld.

Tabel 3 Gemiddelde en standaardafwijking van afwijkingen tussen GXGref en GXGoud

Bodemgroep	Residuen GHG		Residuen GLG	
	gemiddeld	s.d.	gemiddeld	s.d.
Veengronden	-6,5	14,4	0,6	20,2
Moerige gronden	14,7	18,9	26,7	17,2
Gooreerd- en vlakvaaggronden	-4,9	22,3	-11,2	20,4
Beekeerdgronden	28,0	29,7	38,0	24,0
Veld- en Laarpodzolgronden	4,7	32,5	5,9	44,5
Enkeerdgronden	-7,0	35,2	-5,3	37,4
Haarpodzol- en Duinvaaggronden	-27,8	50,3	-23,6	45,4

$$S_{res} = \frac{res - res_{Gem}}{resSD} \quad (1)$$

waar:

S_{res} = gestandaardiseerde residu voor het boorpunt

res = residu voor het boorpunt

res_{Gem} = gemiddelde van de residuen binnen een groep bodemeenheden

$resSD$ = standaardafwijking van de residuen binnen een groep bodemeenheden

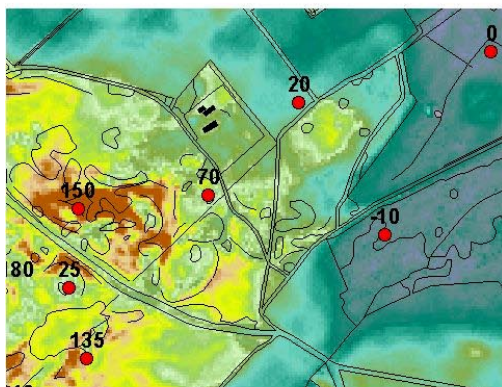
Om te onderzoeken of gestandaardiseerde residuen een ruimtelijk patroon vertonen is met geostatistische software van GSLIB (Deutsch, C.V. & A.G. Journel, 1998) een semivariogram afgeleid. Met GENSTAT hebben we een exponentieel model gefit door dit semivariogram. De parameters van dit model hebben we gebruikt om met geostatistische software van GSLIB een kriging uit te voeren, waarbij voor de plekken waar geen waarneming gedaan is een gestandaardiseerde residu geschat is.

Het grid met gestandaardiseerde residuen hebben we geïmporteerd in Arcview en terug gerekend naar normale residuen. We hebben dit grid beperkt tot Strijper Aa omdat daarbuiten geen boringen verricht zijn. Door de geïnterpoleerde residuen op te tellen bij de GXGref zoals die is afgeleid van de bodemkaart is de definitieve GXGref bepaald. Het verschil tussen de oorspronkelijke GHGref en GHGref na correctie blijkt uit vergelijking van figuur 9D en 9F. In figuur 7F is tevens de geschatte GHGoud geplot in kleuren die overeen komen met de legenda voor de GHGref (voor legenda's zie figuur 10). Door deze correctie is de GHG in het Turfwater veel ondieper geworden, hetgeen beter past bij het beeld van dit gebied rond 1900 toen het nog grotendeels water was (zie figuur 4). Het landbouwgebied ten noordwesten van de Schaapskooi wordt juist droger gekarteerd. Door deze correctie zijn over het algemeen de verschillen ten opzichte van GHGoud kleiner geworden.

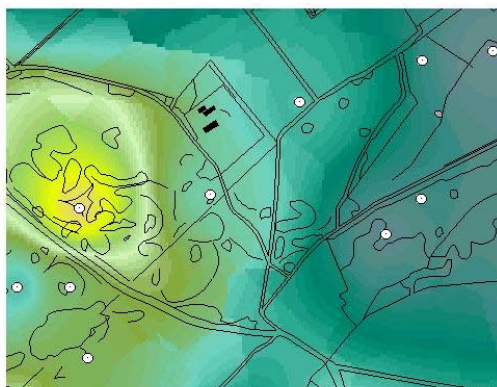
4.2 Referentiegrondwaterstanden door interpolatie van veldschattingen

De tweede methode die we gebruikt hebben om GXGref te bepalen gaat uit van veldschattingen van GXGoud in de boorgaten en de hoogtekaart. Deze schattingen zijn gebaseerd op profielkenmerken (zie 3.2.3.3). Door inverse afstand gewogen interpolatie (IDW) van de GXGoud ten opzichte van NAP is een vlakdekkende schatting gemaakt van de GXGref. De methode is relatief eenvoudig en wordt op vergelijkbare wijze uitgevoerd als de interpolatie van de berekende GXG voor het actuele grondwaterregime (AGR). Hij is ontwikkeld voor toepassing bij verdrogingskarteringen in middelgrote gebieden (Van Delft et al., 2002a). Wij hebben onderzocht of hij ook toepasbaar is voor grotere gebieden, zoals Strijper Aa. De gevolgde methode wordt geïllustreerd in figuur 10.

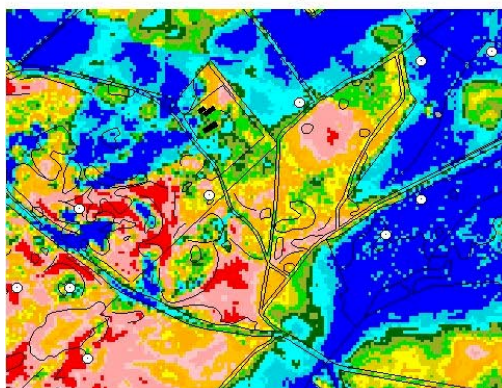
A. Hoogtekaart met veldschattingen GHGoud



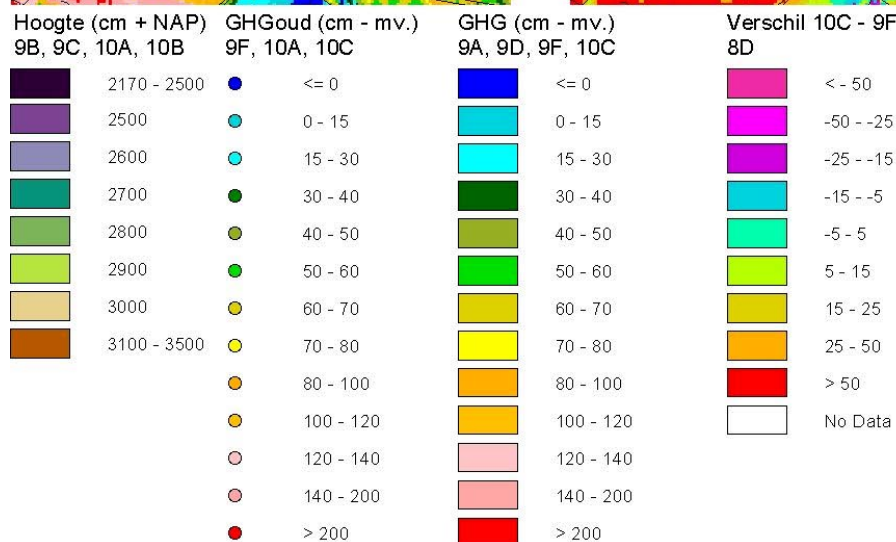
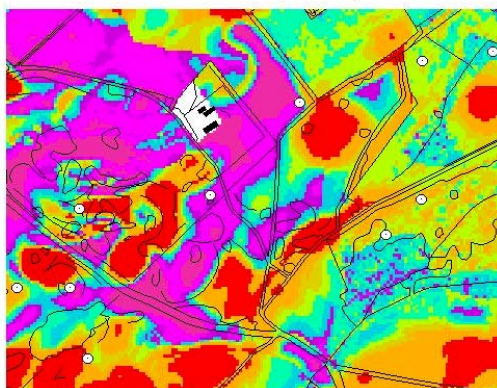
B. Referentie GHG, geïnterpoleerd tov. NAP



C. Referentie GHG, relatief na interpolatie



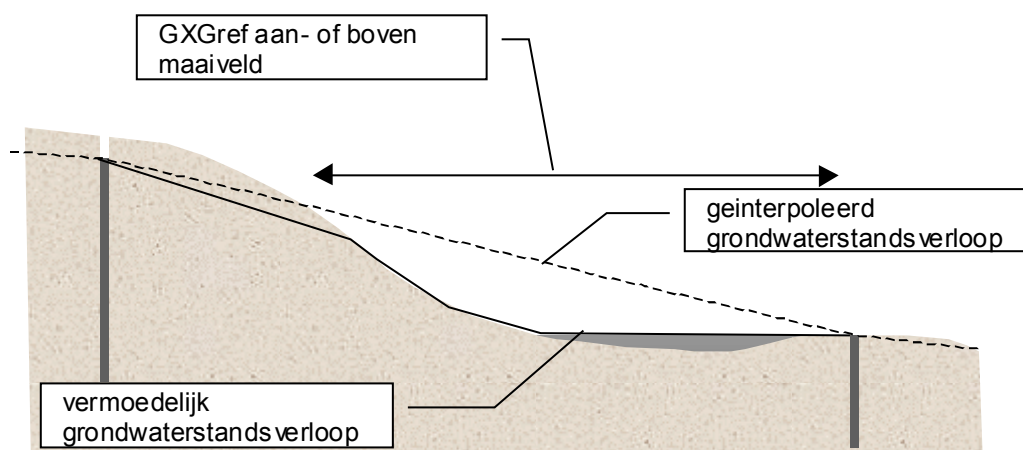
D. Verschil met Brabantmethode (10C - 9F)



Figuur 10. Interpolatie referentie GHG en vergelijking met de Brabantse methode

In figuur 10A zijn de veldschattingen van de GHGoud geplote op de hoogtekaart. Door in de boorpunten de GHGoud af te trekken van de maaiveldhoogte wordt GHGoud ten opzichte van NAP berekend. Middels IDW (Inverse Distance Weighting) IDW is een interpolatiemethode waarbij voor elke cel een waarde berekend wordt op basis van het gewogen gemiddelde van een aantal (N) meetpunten dat het dichtst bij de cel ligt. De waarden in de meetpunten wordt gewogen volgens de afstand tot de cel. Hierdoor is de invloed van meetpunten

verder weg kleiner dan die van nabij gelegen meetpunten. Het aantal omringende boorpunten hebben we gevarieerd, per GXG-variabele. Het uitgangspunt is dat het GHG-vlak sterker beïnvloed zal worden door hoogteverschillen op korte afstand dan het GLG-vlak, dat een meer geleidelijk verhang kent. Voor de GHG hebben we 5 punten in de omgeving van een cel gemiddeld, voor de GVG 10 en voor de GLG 25 punten. In figuur 10B is de GHGref in de omgeving van de Schaapskooi ten opzichte van NAP weergegeven. Onder de hoge terreindelen is duidelijk een opbolling te zien van de GHGref en in het Turfwater, waar het maaiveld ook het laagst is, komen de laagste waarden voor. In de laatste stap wordt de GXG terug gerekend naar maaiveld door de absolute GXGref af te trekken van de maaiveldhoogte (figuur 10C). In lage terreingedeelten kan het voorkomen dat daarbij GXG waarden boven maaiveld voorspeld worden. Dit kan terecht zijn, bij afvoerloze laagtes, maar zal onterecht zijn bij plekken waar afvoer naar het oppervlaktewater heeft plaatsgevonden. Met de gebruikte methode is niet goed te voorspellen wat de werkelijke stand boven maaiveld zal zijn geweest (zie figuur 11). Daarom hebben we voor alle cellen waar dit zich voor doet, de GXGref afgetopt op maaiveldniveau. Hier is overal de waarde 0 gegeven (eigenlijk ≤ 0).



Figuur 11 Grondwaterstanden boven maaiveld bij interpolatie tussen boorpunten.

4.3 Vergelijking van de methoden

In figuur 10D zijn de GHGref waarden voor beide methoden van elkaar af getrokken. In vergelijking met de Brabant methode geeft de interpolatie een gedifferentieerder beeld van de GXG (vergelijk figuur 9F en 10C). De lage terreindelen zijn natter en op de hogere delen komen diepere GXG waarden voor. Volgens de Brabant methode komen in de lage delen voornamelijk GHGref waarden voor tussen 0 en 30 cm – mv., met grote verschillen over korte afstand. Voor het Turfwater lijkt dat zeer onwaarschijnlijk, omdat hier ondiepere waarden verwacht moeten worden. Door het gebruik van de mediaan voor de GXGref wordt waarschijnlijk onvoldoende recht gedaan aan de verschillen binnen een vlak met een bepaalde bodemeenheid, dit ondanks de vereffening en de correctie voor de veldschattingen. Uit de percentielwaarden in tabel 2 blijkt dat in elk geval in een deel

van de veengronden en moerige gronden GHG waarden boven maaiveld verwacht mogen worden. Bij de door interpolatie bepaalde GHGref lijkt deze variatie veel beter tot uiting te komen. Het is wel de vraag of de dichtheid en de ruimtelijke spreiding van de boorpunten voor de Strijper Aa optimaal zijn (zie 7.2). Om deze reden hebben we gekozen om de bepaling van de GXGref te baseren op deze methode. De Brabant methode lijkt meer geschikt voor grotere gebieden, waar het schatten van GXGoud in boorgaten met een voldoende dichtheid te arbeidsintensief zou worden. De Brabant methode zou nog wel verbeterd kunnen worden door meer rekening te houden met de variatie in maaiveldhoogte binnen een bodemvlak.

Voor de GHGref, GVGref en GLGref zijn de resultaten weergegeven op kaart 6a, 6b en 6c.

4.4 Resultaten Referentie grondwaterregime

In deze paragraaf worden de resultaten besproken voor het referentie grondwaterregime (RGR). Voor de referentiegrondwaterstanden worden alleen de resultaten besproken die bepaald zijn op basis van interpolatie van veldschattingen. De afwegingen voor deze keuze zijn beschreven in 4.3.

4.4.1 Referentiegrondwaterstanden door interpolatie van veldschattingen

Op kaart 6a, 6b en 6c zijn referentiegrondwaterstanden voor de GHG, GVG en GLG (GXGref) in Strijper Aa weergegeven.

In de oorspronggebieden rond het Turfwater en in de bovenloopgebieden bij Witsem en rond de Zuidelijke bovenloop was het zeer nat, met GHG waarden aan of boven maaiveld. Dit geldt ook voor de natte heide rondom de Klotvennen en in De Riesten. GLG-waarden binnen 30 cm – mv. kwamen voor in het Turfwater, het broekbos in De Riesten bij Witsem en in de laagste delen bij de Zuidelijke bovenloop en bij de Klotvennen. Grote delen van de heide hadden ook vrij ondiepe GHG's, tussen 0 en 30 cm – mv. De GLG op de heide was wel dieper en varieerde van 80 tot meer dan 200 cm – mv.

5 Actuele grondwaterregime

5.1 Methode voor het bepalen van actuele grondwaterstanden

Voor het bepalen van de actuele grondwaterstanden hebben we gebruik gemaakt van de gegevens van peilbuizen, weergegevens, metingen in boorgaten, de hoogtekaart en hulpinformatie die is afgeleid uit de hoogtekaart, de topografische kaart en de bodemkaart. De vlakdekkende kartering van de GXG hebben we op twee manieren uitgevoerd. Eerst hebben we een kartering uitgevoerd volgens de Gd-methode (Finke et al., 1999 & 2002). Ter vergelijking hebben we de GXG in kaart gebracht door interpolatie van de GXG-waarden. Daarbij is gebruik gemaakt van de methode zoals die is ontwikkeld voor middelgrote natuurgebieden (Van Delft et al., 2002a).

In beide gevallen is eerst een voorspelling gedaan van de GXG in de boorgaten op basis van een tijdreeksanalyse en regressie. Hoe vervolgens uit deze voorspellingen per boorpunt een vlakdekkend beeld wordt verkregen verschilt per methode. Bij de Gd-methode wordt een voorspelling gedaan op basis van een regressiemodel waarin een relatie wordt gelegd met voor de grondwaterstanden relevante factoren zoals relatieve hoogteligging en ontwateringsdichtheid. Bij de methode zoals die is ontwikkeld voor middelgrote natuurgebieden vindt een interpolatie plaats met behulp van IDW (zie 4.2).

5.1.1 Tijdreeksanalyse voor peilbuizen

Om klimaatonafhankelijke grondwaterkarakteristieken af te leiden voor de peilbuizen hebben we een tijdreeksanalyse uitgevoerd met het programma KALMAX uit het pakket VIDENTE (Bierkens en Bron, 2000). Hiervoor hebben we in DINO een selectie gemaakt van grondwaterstandsmetingen in de periode 1990 t/m 2000. Voor de bepaling van het neerslagoverschot hebben we gebruik gemaakt van neerslaggegevens van de weerstations Helmond en Eindhoven en verdampingsgegevens van het weerstation Eindhoven vanaf 1970. Met behulp van deze meetreeksen is een relatie afgeleid tussen 14 daagse grondwaterstandsmetingen in de peilbuizen en het neerslagoverschot in de periode sinds de vorige meting. Die relatie is vervolgens toegepast over de gehele tijdreekslengte (30 jaar) van neerslagoverschotten om klimaatrepresentatieve tijdreeksen van grondwaterstanden te genereren, waaruit dan de GHG, GVG, GLG (maar ook andere kenmerken van de Gd zoals regimecurve, duurlijn en kwelklasse) kunnen worden afgeleid (Knotters en Van Walsum, 1994). Hierbij is voor elke peilbuis de klimaatonafhankelijke GHG, GVG en GLG berekend, met een schatting van de standaardafwijking. Uit de duurlijn is het aantal inundatiedagen berekend. Door vergelijking van de voorspelde grondwaterstanden met de gemeten grondwaterstanden is een correlatiecoëfficiënt bepaald, waaruit blijkt hoe goed de gevonden relatie past bij de metingen. De resultaten van de tijdreeksanalyse staan in tabel 4.

Tabel 4 Klimaatonafhankelijke karakteristieken van de geselecteerde peilbuizen. Bij de bepaling van het effect van de meetdichtheid zijn de grijs gemarkeerde buizen weggelaten (zie 7.1).

Code in Code SBB DINO	GHG	GVG	GLG	sdGHG	sdGVG	sdGLG	inundatie (dagen)	correlatie coëfficiënt
57e7054 B204	29,2	48	104	2,68	2,68	2,74	4	0,94
57e7056 B206g	46,4	70,2	118,8	1,56	1,61	1,68	0	0,87
57e7058 B208g	79,6	96,6	139,5	2,72	2,79	2,77	0	0,66
57e7059 B209g	12,2	31,6	65,8	1,32	1,45	1,43	6	0,82
57e7060 B210g	51,4	74,9	124,7	1,64	1,68	1,76	0	0,80
57e7061 B211g	88,6	115,2	176,4	1,76	1,76	1,89	0	0,91
57e7062 B212g	15,3	32,4	59,8	1,2	1,38	1,29	2	0,78
57e7064 B214g	91,9	119,5	203	2,32	2,23	2,42	0	0,91
57e7065 B216	96,9	118,8	157,8	1,31	1,4	1,42	0	0,87
57e7066 B217	103	119,6	150,8	1,97	2,18	2,04	0	0,77
57e7067 B218g	74,9	94,9	142,1	1,96	2,02	2,06	0	0,91
57e7069 B220g	145,8	167,1	232,3	2,52	2,48	2,6	0	0,93
57e7075 B226	70,9	89,9	161	3,86	3,67	3,81	0	0,96
57e7076 B227x	46,7	65	102,4	1,71	1,83	1,81	0	0,82
57e7077 B228g	80,3	103,9	190,4	2,95	2,8	2,97	0	0,96
57e7078 B229A	100,7	122,7	192,2	2,54	2,48	2,62	0	0,91
57e7079 B230A	132,3	154,3	231,8	2,89	2,79	2,95	0	0,86
57e7080 B231g	140,9	157,2	180,1	0,91	1,09	1,01	0	0,68
57e7083 B234g	111,5	133,9	189,7	1,98	1,99	2,08	0	0,93

De spreiding van de GXG-waarden in de peilbuizen is goed. Er komen zowel natte als droge GXG's voor. Extreme waarden ontbreken echter zowel aan de natte als de droge kant. Hoewel in een groot deel van het gebied grondwaterstanden langdurig aan of boven maaiveld voorkomen, zijn er geen buizen die dat beschrijven. De peilbuizen met de ondiepste standen zijn B209 in Strijperheg en B212 in het grasland aan de rand van het Turfwater. Er staan in Strijper Aa wel peilbuizen op nattere plaatsen (o.a. B269), maar daarvan is de meetreeks te kort. De droogste buizen zijn B220 bij het Langbosch en B230 aan de rand van de Groote Heide, met GLG rond 230 cm – mv. In dit deel van het gebied komen plaatselijk GLG's voor die dieper zijn, en dus niet door deze buizen beschreven worden. Grondwaterstanden binnen het boorbereik van 0 tot 250 cm – mv. kunnen met deze set peilbuizen wel goed beschreven worden.

5.1.2 Voorspelling GXG in boorgaten

Op de dagen dat in de boorgaten gerichte metingen zijn verricht hebben we ook de peilbuizen opgemeten. Hierdoor is het mogelijk om in de buizen voor de dag van de gerichte opname een regressierelatie te bepalen tussen de op die dag gemeten grondwaterstand en de berekende GXG (zie 5.1.1). Een variant hierop is het bepalen van zowel de zomer- als de wintergrondwaterstand enerzijds als de GXG anderzijds. Deze relatie heeft de algemene vorm van vergelijking 2.

$$GXG = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \varepsilon \quad (2)$$

waarbij x_1 de wintergrondwaterstand, x_2 de zomergrondwaterstand en de GXG de GHG, GVG of GLG in een peilbuis; β_i ($i = 0, 1$ of 2) zijn de regressieparameters en ε is de fout bij de regressie.

We hebben eerst bepaald welk model voor de voorspelling van de GXG het best is: één van de twee modellen gebaseerd op 1 gemeten stand (in dit geval geldt: $\beta_2 = 0$), of het model gebaseerd op 2 gemeten standen. Daarna wordt het gekozen regressiemodel gefit. Deze relatie wordt dan toegepast op de gemeten grondwaterstanden in boorgaten van de gerichte opname, hetgeen resulteert in een voorspelling van de GXG. Ook de onzekerheid van deze voorspelling wordt berekend met de variantie van de voorspelfout. De op deze manier voorspelde klimaatrepresentatieve GXG waarden voor de boorgaten zijn opgenomen in aanhangsel 2.

Bij het toepassen van de regressievergelijking kunnen er 2 bijzondere omstandigheden optreden. Deze omstandigheden en hoe daarmee wordt omgegaan worden hieronder kort geschetst.

1. De gemeten grondwaterstand in een boorgat is dieper dan de maximale boordiepte van 2,50 meter. In dat geval spreekt men van een “gecensureerde waarneming”: de precieze waarde is onbekend, maar wel is bekend dat de waarneming “dieper dan” een grenswaarde is. Na detectie van een gecensureerde waarneming wordt eerst een zgn. *maximum likelihood* schatting gemaakt van de grondwaterstand. Daarbij wordt de code “> 250 cm” vervangen door de meest waarschijnlijke diepte groter dan 250 cm. Dit getal wordt vervolgens ingevoerd in de regressievergelijking. De check op gecensureerde waarnemingen en de vervanging met het meest waarschijnlijke getal is standaard ingebouwd in het GENSTAT-programma waarmee de GXG wordt voorspeld.
2. De in het veld gemeten standen zijn veel natter of droger dan de standen die in de DINO-peilbuizen zijn gemeten. Dit verschijnsel heet “extrapolatie” en kan met behulp van een statistisch criterium worden gesignaleerd. Dit criterium is bij de interpolatie tussen boorgaten gebruikt om te bepalen of een boorgat gebruikt wordt bij de interpolatie (zie 5.1.4).

5.1.3 Afleiding vlakdekkende GXG met Gd-methode

Bij de Gd-methode wordt de gebiedsdekkende kartering van de GXG gebaseerd op een relatie die afgeleid wordt voor de voorspelde GXG's in de boorgaten en hulpinformatie die afgeleid wordt uit bestaande gegevens. Voor meer informatie over deze methode verwijzen wij naar Finke et al. (1999 & 2002).

Hulpinformatie

Als hulpinformatie voor het vlakdekkend voorspellen van de GXG zijn variabelen gebruikt die afgeleid zijn uit de hoogtekartaar, de bodemkartaar en de topografische kartaar. Deze variabelen zijn ingedeeld in een aantal groepen. Het betreft de volgende groepen van variabelen:

Tabel 4 Groepen van hulpvariabelen voor het vlakdekkend karteren van de GXG.

Groep		Afgeleid van		
Variable	Omschrijving	hoogtekaart	bodemkaart	topografische kaart
<i>1. Relatieve maaiveldhoogte</i>				
R1	Relatieve maaiveldhoogte met een zoekstraal 100 m			
R2	Relatieve maaiveldhoogte met een zoekstraal 200 m			
R3	Relatieve maaiveldhoogte met een zoekstraal 300 m			
R4	Relatieve maaiveldhoogte met een zoekstraal 400 m			
R5	Relatieve maaiveldhoogte met een zoekstraal 500 m			
<i>2. Maaiveldhoogte</i>				
H	Absolute hoogte tov NAP (cm)			
<i>3. Drooglegging</i>				
Dr	Drooglegging ten opzichte van maaiveld (cm)			
<i>4. Afstand tot drainagemiddel</i>				
Dw	Afstand tot dichtstbijzijnde sloot of greppel			
<i>5. Drainagedichtheid</i>				
S1	Dichtheid van sloten binnen zoekstraal 100 m			
S2	Dichtheid van sloten binnen zoekstraal 200 m			
S3	Dichtheid van sloten binnen zoekstraal 300 m			
S4	Dichtheid van sloten binnen zoekstraal 400 m			
S5	Dichtheid van sloten binnen zoekstraal 500 m			
G1	Dichtheid van sloten en greppels binnen zoekstraal 100 m			
G2	Dichtheid van sloten en greppels binnen zoekstraal 200 m			
G3	Dichtheid van sloten en greppels binnen zoekstraal 300 m			
G4	Dichtheid van sloten en greppels binnen zoekstraal 400 m			
G5	Dichtheid van sloten en greppels binnen zoekstraal 500 m			
<i>6 en 7. GHG en GLG van de bestaande Gt-kaart (Dirkx & Kleijer, 1988)</i>				
GHG	Op basis van verdeling GXG-bereik over maaiveldhoogten binnen			
GLG	Gt-vlak.			

Per variabele is een gridbestand aangemaakt waar in een 5 x 5 m grid voor elke cel de waarde van deze variabele is opgenomen.

Afleiden relatie tussen hulpinformatie en GXG

Voor de boorgaten is, per stratum, voor elke GXG-variabele apart, een relatie afgeleid tussen de GXG en een selectie van de hulpvariabelen. Dit is een meervoudige regressie relatie. Eerst is een tabel aangemaakt, waarin per boorpunt voor elke variabele uit tabel 4 de waarde is opgenomen. Hiermee is een regressieanalyse uitgevoerd, waarbij met één of meer van de variabelen de GXG voorspeld kan worden. Door selectie van variabelen zijn alleen significante variabelen opgenomen, waarbij steeds uit een groep maximaal 1 variabele genomen is. In tabel 5 zijn de gevonden relaties opgenomen.

Tabel 5 Regressieparameters voor relaties tussen GXG in boorgaten en hulpvariabelen. C = constante, V = variabelenaam, β = coëfficiënt, R^2 = percentage verklaarde variantie.

Stratum		Groep (zie tabel 4)										R ²
GXG	C	1		2	3	4	5		6	7		
		V	β	β	β	β	V	β	β	β		
11 – Bos in infiltratiegebieden												
GHG	47,1					-0,13			1,19		63,6	
GVG	143,2	R2	0,58	-0,46	0,36		G3	-22,54	19,75	-1,04	64,3	
GLG	1664,2	R2	0,61	-0,48			G3	-38,39	2,55	-1,41	67,5	
12 – Bos in potentiële kwelgebieden												
GHG	-42,1	R1	1,00				G3	8,22		0,28	54,8	
GVG	-20,7	R1	0,97				G3	8,26		0,25	53,0	
GLG	14,1	R1	0,77				G4	9,84			46,8	
21 – Open terrein in infiltratiegebieden												
GHG	588,4	R5	0,64	-0,18	0,27		S5	-28,4			71,9	
GVG	580,1	R5	0,59	-0,17	0,28		S5	-26,43			71,3	
GLG	557,6	R5	0,37	-0,15	0,25		G5	-12,91		0,30	74,7	
22 – Open terrein in potentiële kwelgebieden												
GHG	20,7						G5	-4,78	1,23		51,8	
GVG	42,2						G5	-4,42	1,26		49,8	
GLG	60,7				0,26				1,32		49,9	

Per stratum zijn vaak dezelfde variabelen significant voor meerdere GXG's. Ook de R^2 verschilt per stratum. De verklarende kracht van de modellen is het grootst bij stratum 21. Hier zijn ook de meeste boorpunten in geloot. Bij open terreinen in potentiële kwelgebieden is de verklaarde variantie vrij laag, maar daar moet bij bedacht worden dat ook de absolute variatie laag is (minder variatie in grondwaterstanden dan in infiltratiegebieden).

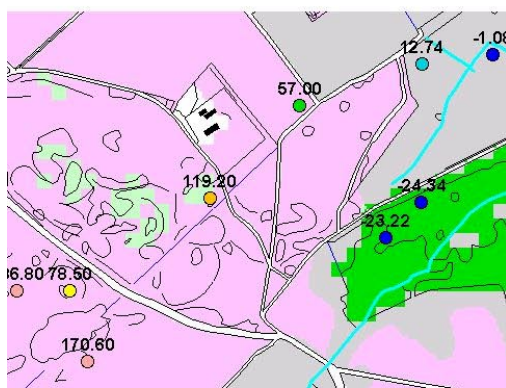
Toepassen van de relaties

De gevonden relaties zijn toegepast op de gridbestanden van de hulpvariabelen. Per stratum is hiermee de GXG berekend. Voor stratum 22 is bijvoorbeeld de GHG berekend met vergelijking 3.

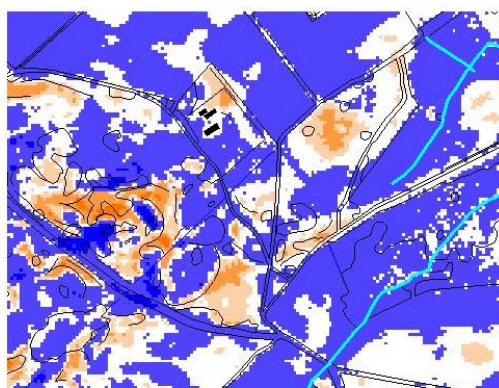
$$GHG = 20,7 - 4,78 \cdot G5 + 1,23 \cdot ghg \quad (3)$$

In figuur 12 is deze werkwijze stapsgewijs geïllustreerd.

A. Strata en GHG per boorpunt



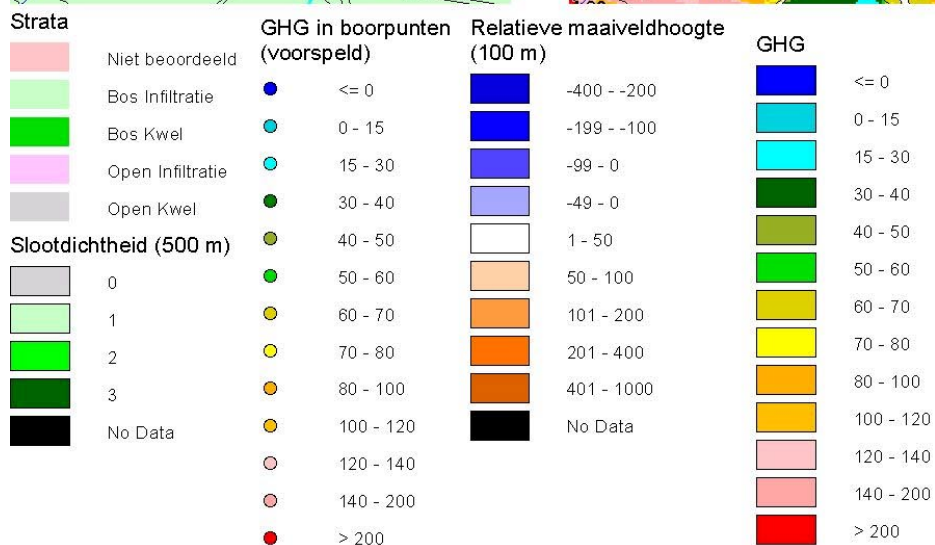
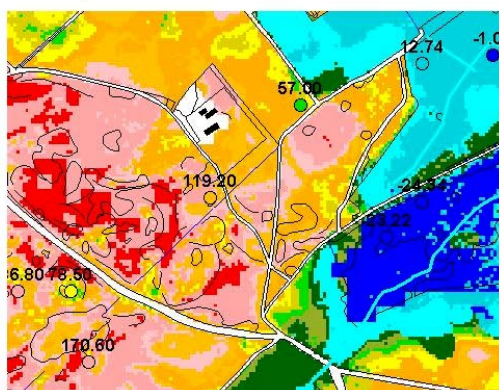
B. Hulpinformatie: relatieve maaiveldhoogte (100 m)



C. Hulpinformatie: Slootdichtheid (500 m)



D. Voorspelde GHG



Figuur 12 Stappen voor de bepaling van de actuele GXG met de Gd-methode.

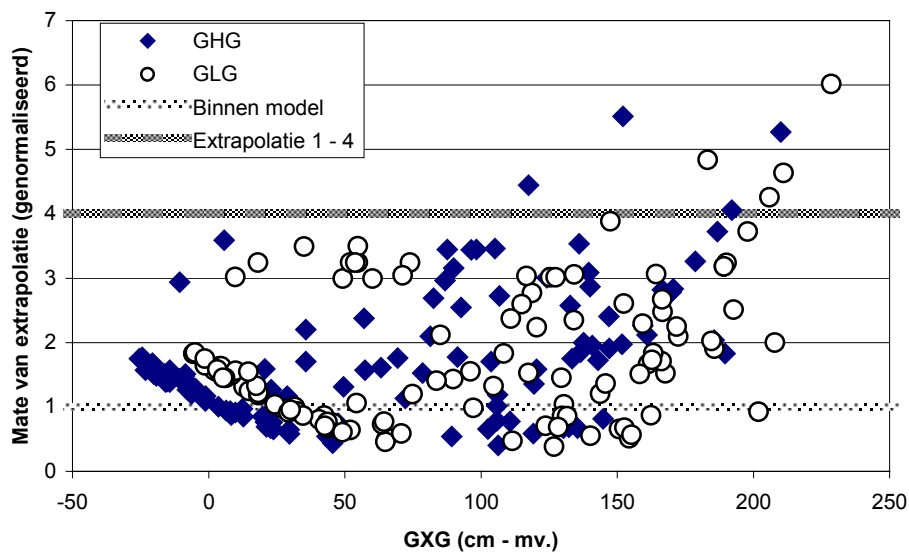
5.1.4 Interpolatie tussen boorgaten

Bij de methode die voor verdrogingskarteringen in middelgrote gebieden is ontwikkeld (Van Delft et al., 2002a) is een inverse afstand gewogen interpolatie (IDW) uitgevoerd op vergelijkbare wijze als voor de RGR (zie 2.3.2).

Vergelijking van GXG waarden ten opzichte van NAP gaf te zien dat bij boorpunten met sterk geëxtrapoleerde GXG waarden onder ruggen, diepere grondwaterstanden voor zouden komen dan in aangrenzende laagtes. Daarom zijn deze punten weggelaten uit de analyse. De mate van extrapolatie zoals die in aanhangsel 2 is aangegeven, is afhankelijk van het aantal buizen en het aantal gerichte metingen dat gebruikt is in het model. Daarom hebben we deze waarde eerst genormaliseerd. De genormaliseerde mate van extrapolatie volgt uit vergelijking 4.

$$MeGXGN = \frac{MeGXG}{2 \cdot (Nm / Nbuis)} \quad (4)$$

Waarin *MeGXGN* staat voor de genormaliseerde mate van extrapolatie van de GXG, *MeGXG* de mate van extrapolatie, *Nm* het aantal gerichte metingen en *Nbuis* het aantal peilbuizen in het model. Indien deze waarde groter is dan 1, valt de voorspelling van GXG buiten het geldigheidsbereik van het model en is sprake van extrapolatie, waardoor de voorspelling kritisch bekeken moet worden. Voor boorpunten waarbij *MeGXGN* > 4 bleek dat GXG waarden in het algemeen te diep voorspeld werden. Deze hebben we bij de interpolatie weggelaten. Deze punten zijn in aanhangsel 2 grijs gemarkeerd. In figuur 13 is de relatie weergegeven van de mate van extrapolatie met de diepte van de voorspelde GXG. Hieruit blijkt dat bij diepere grondwaterstanden vaker sprake is van extrapolatie dan bij ondiepe buizen.



Figuur 13 Relatie tussen diepte van de GXG en de mate waarin extrapolatie is toegepast bij het schatten van GXG.

Voor de actuele GHG, GVG en GLG zijn de geïnterpoleerde waarden weergegeven in kaart 7a, 7b en 7c.

5.2 Resultaten

Het actuele grondwaterregime is beschreven aan de hand van de actuele grondwaterstanden zoals die interpolatie van GXG waarden zijn bepaald (zie 5.1).

Grondwaterstanden aan of boven maaiveld vinden we voor de GHG nog op vrij grote schaal in het Turfwater, het zuidelijk deel van Witsem, het centrale deel van De Riesten, langs de Zuidelijke bovenloop en bij de Klotvennen. Voor het overige is het gebied droog. Op de heide komt plaatselijk de GHG rond 50 cm – mv. voor, maar voor het grootste deel varieert deze van 60 tot meer dan 200 cm – mv.

De GLG is in de hogere delen vrijwel overal dieper dan 140 cm – mv. Alleen in het Turfwater komen nog GLG's voor binnen 30 cm – mv.

6 Mate van verdroging

De mate van verdroging kan bepaald worden vanuit twee invalshoeken. In dit rapport is de verandering van de GXG (GVG) als maat genomen voor de grondwaterstandsaling (zie 6.1). Dit is de meest letterlijke vorm van verdroging, waardoor de vochthuishouding in de bodem verandert. De vegetatie reageert daarop door het verdwijnen van vochtminnende soorten. Een ander belangrijk aspect bij verdroging is de verandering van de kwelkans. Ook op plaatsen waar de grondwaterstanden weinig gedaald zijn, kan verdroging tot uiting komen in een afname van de kwel. Hierover wordt in apart rapport gerapporteerd.

6.1 Verandering grondwaterstanden

De verandering van de grondwaterstanden hebben we bepaald door de GXG in de referentieperiode af te trekken van de actuele GXG. De resultaten hiervan staan op kaart 8a, 8b en 8c.

De actuele GVG kan, net als de GHG en de GLG, afgeleid worden uit de tijdreeksanalyse van de peilbuizen (zie 5.1.1) en vervolgens voorspeld worden voor de boorgaten (5.1.2) en door interpolatie gebiedsdekkend toegepast worden. Voor de GVG in de referentieperiode kan dit echter niet op dezelfde wijze afgeleid worden. Deze methode is namelijk gebaseerd op schattingen van de GHG en de GLG in de boorgaten (4.2). De GVG valt hierbij niet waar te nemen. De GVG valt wel te benaderen door middel van een lineaire vergelijking die door middel van een regressieanalyse is afgeleid van metingen in een groot aantal peilbuizen (Van der Sluijs, 1990). Hierbij is de GVG afhankelijk van de GHG en het verschil tussen GHG en GLG. Deze relatie wordt beschreven in vergelijking 5.

$$GVG = 5,4 + 1,02 \cdot GHG + 0,19 \cdot (GLG - GHG) \quad (5)$$

Om een goede vergelijking te kunnen maken van de GVG hebben we deze zowel voor de referentie als voor de actuele situatie berekend met vergelijking 5. In beide gevallen hebben we de formule toegepast op de GHG en GLG voor de boorgaten, waarna we de tussenliggende waarden hebben vastgesteld door interpolatie (4.2 en 5.1.4). Hierbij zijn GVG-waarden boven maaiveld afgetoet op $GVG = 0$.

6.2 Resultaten mate van verdroging

6.2.1 Verandering GXG

De mate van verdroging door verandering van GXG is weergegeven in kaart 8a, 8b en 8c. In de natste delen van het Turfwater en bij de Klotvennen is een lichte vernatting opgetreden. Dit kan verband houden met waterconserverende

maatregelen die genomen zijn. Dit is waarschijnlijk ook de reden dat grote delen van De Riesten voor wat betreft de grondwaterstanden als niet verdroogd gekarteerd zijn.

Verdroging is vooral aangegeven op de overgang van natte naar droge delen van het gebied. Hier zijn grote oppervlakten sterk verdroogd. Behalve invloed op de vochthuishouding ter plaatse heeft dit ook grote gevolgen voor de lokale hydrologie. Omdat in de hogere delen de grondwaterstanden relatief sterk gedaald zijn, zal lokale kwel veel minder optreden dan in een onverdroogde situatie.

7 Effect meetdichtheden

Voor de planning van toekomstige verdrogingskarteringen is het van belang te weten hoeveel waarnemingen nodig zijn om een goede beoordeling van de verdroging te doen. Hierbij gaat het om het aantal peilbuizen dat opgenomen moet worden en om de hoeveelheid boorgaten dat gemaakt moet worden.

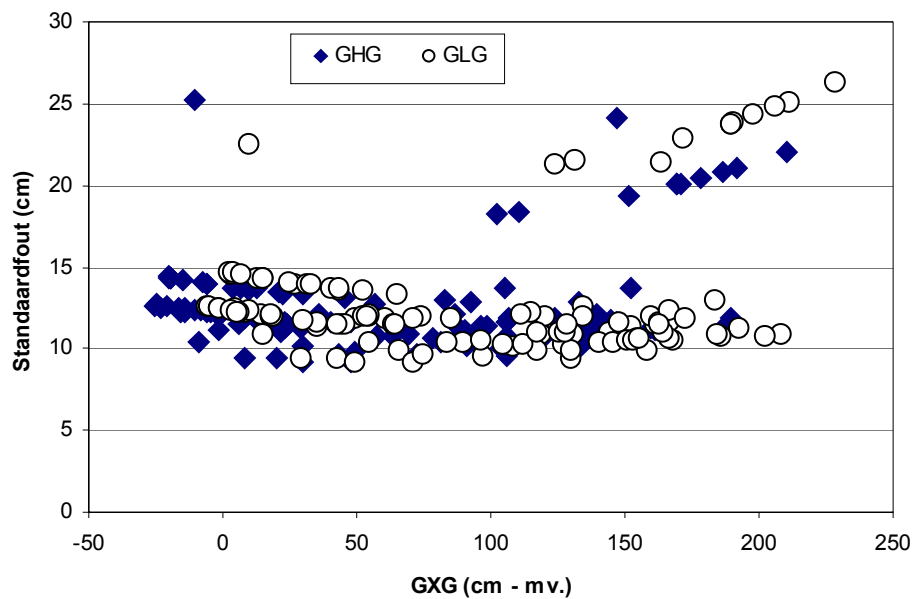
We hebben eerst het effect van het aantal peilbuizen op de voorspelfout van de GXG in de boorgaten onderzocht. Vervolgens hebben we onderzocht wat de invloed van een beperkt aantal boorpunten is op de geïnterpoleerde GXG-waarden.

7.1 Effect aantal buizen op voorspelling GXG in boorgaten

Het effect van het aantal peilbuizen op de voorspelling van de GXG is onderzocht door te berekenen hoe de standaardfout zou veranderen bij een variabel aantal peilbuizen. De standaardfout (se) is gedefinieerd volgens vergelijking 6 (naar Oude Voshaar 1994).

$$se(\text{voorspelling}) = \sqrt{s^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_0 - X_{\text{gem}})^2}{\sum (X_i - X_{\text{gem}})^2}\right)} \quad (6)$$

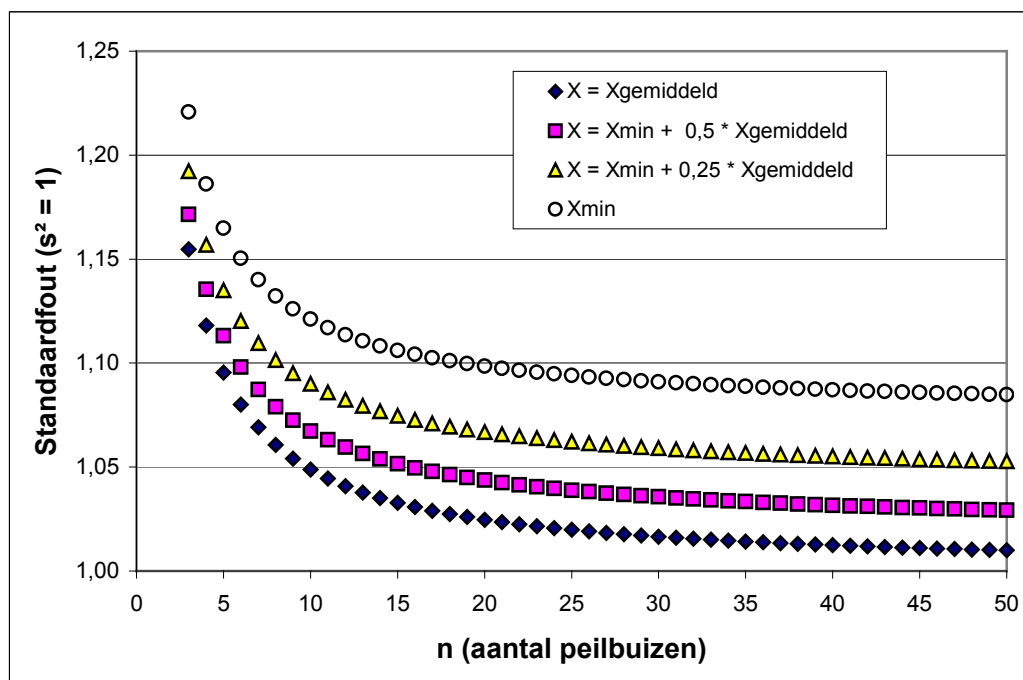
Hierbij staat s^2 voor de restvariantie van het regressiemodel waarop de voorspelling is gebaseerd, n voor het aantal peilbuizen waar het model op gebaseerd is, X_0 voor de gerichte grondwaterstandsmeting waarvoor een voorspelling is gedaan van de GXG, X_i de gerichte meting in de i^{e} peilbuis en X_{gem} voor het gemiddelde van de gerichte metingen in de buizen. In figuur 14 hebben we voor alle boorgaten de standaardfout voor de GHG en de GLG uitgezet tegen de GXG zoals deze voorspeld is op basis van 19 peilbuizen.



Figuur 14 Relatie tussen de standaardfout en de voorspelde GXG in de boorgaten bij 18 peilbuizen.

De standaardfout bedraagt over het algemeen 10 à 15 cm. Bij een aantal boorpunten met een GHG > 100 en een GLG > 120 worden grotere standaardfouten berekend. Waarschijnlijk zijn deze schattingen gebaseerd op modellen met een grote restvariantie. Voor deze diepe standen is vaak een model met 1 gerichte meting gebruikt (zie aanhangsel 2).

De voorspellingen van de GXG en de standaardfout van deze voorspellingen is gebaseerd op een aantal verschillende modellen, omdat per meetdag een model op basis van één of meer gerichte metingen opgesteld is. Per model zal de schatting van de restvariantie (s^2 in vergelijking 6) verschillen. De invloed van het aantal buizen op de standaardfout van de voorspellingen wordt in figuur 15 geïllustreerd. Door in vergelijking 6 de restvariantie standaard de waarde 1 te geven is de invloed van de restvariantie uitgeschakeld. De standaardfout hangt volgens vergelijking 6 ook af van het verschil tussen de gerichte meting X_0 en het gemiddelde van alle gerichte metingen X_{gem} . Als $X_0 = X_{gem}$, zal se tot 1 naderen bij zeer grote waarden van n . De standaardfout is dan dus gelijk aan de wortel van de restvariantie. Bij waarden voor X_0 die groter of kleiner zijn dan X_{gem} (diepe of ondiepe grondwaterstanden) neemt de se toe. Dit laatste effect is in figuur 15 zichtbaar gemaakt door de standaardfout weer te geven op verschillende afstanden van X_{gem} .



Figuur 15 Effect van het aantal peilbuizen op de standaardfout, bij restvariantie $s^2 = 1$

Uit figuur 15 blijkt dat bij een aantal peilbuizen (n) kleiner dan 10 de standaardfout sterk toeneemt naarmate n kleiner wordt. Voor karteringen van de grondwaterdynamiek wordt als vuistregel gehanteerd dat minstens 15 à 20 peilbuizen gebruikt moeten worden die samen het bereik van de GXG-waarden in het gebied goed beschrijven. Dat komt overeen met de bevindingen in deze paragraaf. Het aantal van 19 peilbuizen in deze studie lijkt daarmee redelijk. De verdeling van de peilbuizen over de verschillende GXG-waarden is goed (zie tabel 3).

7.2 Effect van de boordichtheid

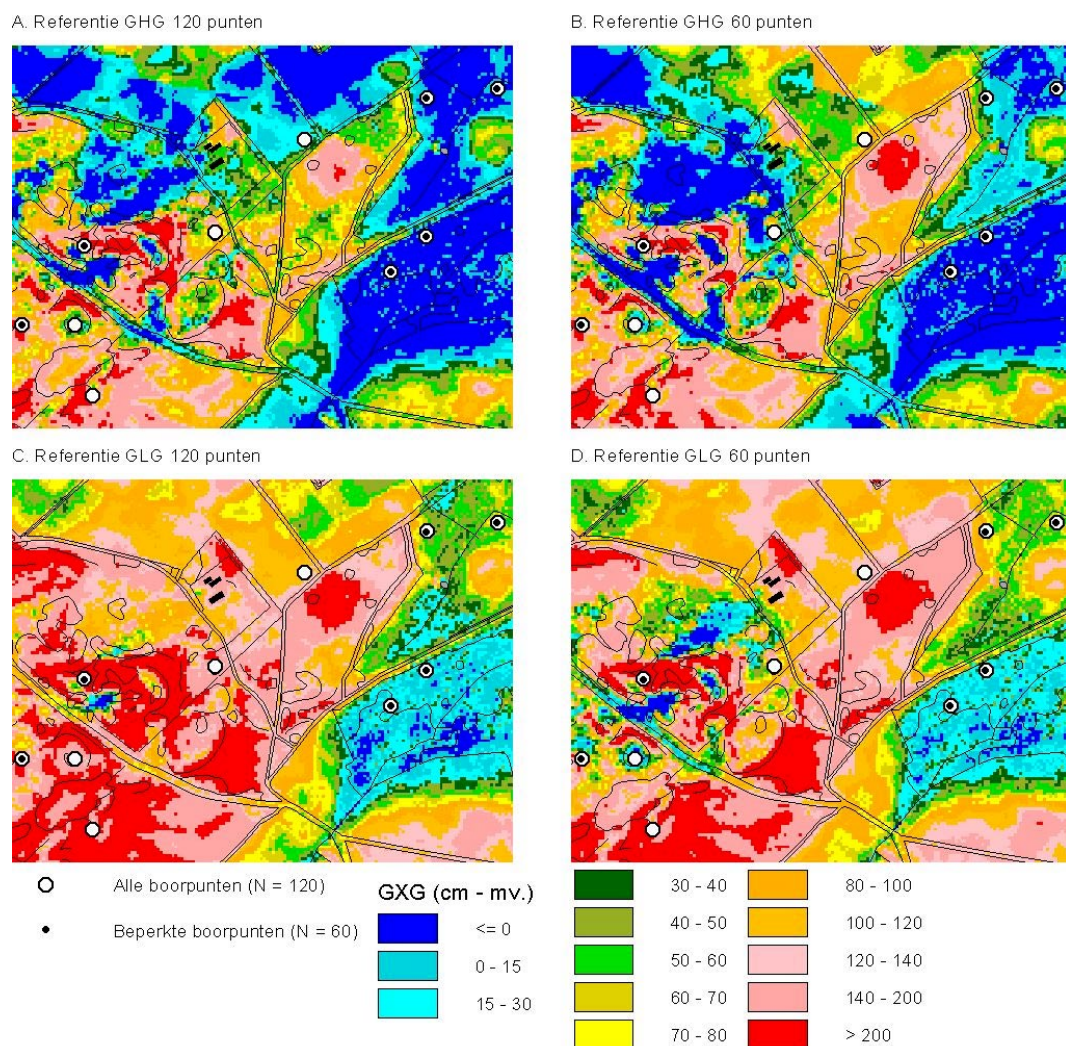
Om het effect van het aantal boorgaten op de geïnterpoleerde GXG waarden te onderzoeken is eerst een kwalitatieve methode gehanteerd, waarbij met name het kaartbeeld is vergeleken. Dit hebben we zowel voor de GXGref als de GXGact gedaan (7.2.1). In 7.2.2 bespreken we een meer kwantitatieve benadering, waarbij door middel van crossvalidatie het effect van boringsdichtheden op de GXGact is onderzocht.

7.2.1 Beoordeling van het kaartbeeld bij verschillende boordichtheden

7.2.1.1 GXG in de referentieperiode

Om een indruk te krijgen van de invloed van de dichtheid van het meetnet op de voorspelling van GXGref hebben we de interpolatie van GHGoud herhaald met minder punten. Bij de opname hebben we 120 punten beschreven. De

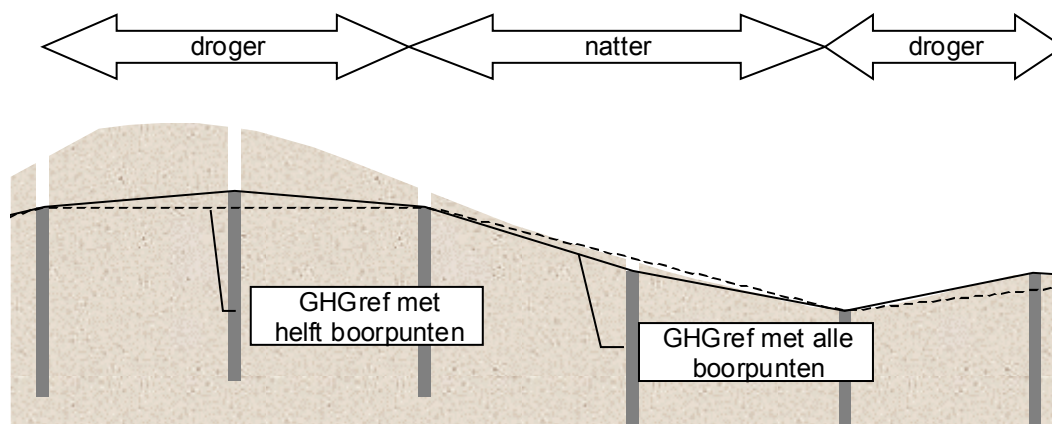
boringsdichtheid verschilt hierbij per stratum (zie tabel 1). De dichtheid voor de natte strata (12 en 22) is het hoogst, met gemiddeld 1 boring per 4 ha. In de infiltratiegebieden bedraagt de gemiddelde boringsdichtheid 1 boring per 6,9 ha. Bij de tweede berekening hebben we het aantal boorpunten gehalveerd tot 60, waarbij per stratum steeds om en om een boorpunt is weggelaten. Voor de omgeving van de Schaapskooi hebben we GHGref en GLGref vergeleken in figuur 16.



Figuur 16 Effect van meetdichtheid op interpolatie GXGref (N = 120 $\approx$ gemiddeld 1 boring/6 ha, N = 86 $\approx$ gemiddeld 1 boring/12 ha).

GHGref lijkt het meest gevoelig te zijn voor de dichtheid van de metingen (16A vs. 16B). In de drogere delen zijn deze verschillen minder groot dan in de natte delen. Het gebied ten noorden en noordoosten van de Schaapskooi wordt bij een geringe dichtheid veel droger gekarteerd, terwijl de laagtes in het stuifzandgebied ten zuiden en zuidwesten hiervan veel natter worden. In het algemeen worden deze delen bij een lagere dichtheid natter gekarteerd, waarbij de klasse ≤ 0 toeneemt ten kostte van de klassen 0 – 15 en 15 – 30 cm – mv. Maar ook in de drogere klassen treden

belangrijke verschuivingen op. In figuur 17 worden de verschillen ten gevolge van de geringere boordichtheid geïllustreerd.



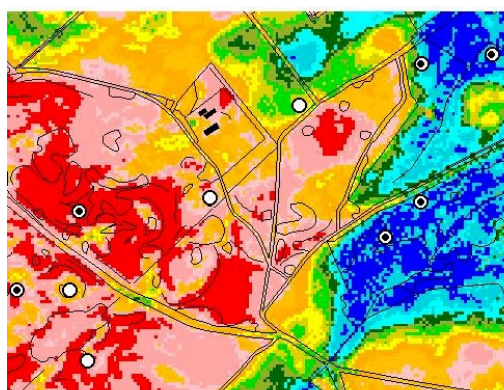
Figuur 17 Verklaring voor verschillen in GXGref afhankelijk van meetdichtheid

Door het wegvallen van tussenpunten worden verschillen tussen punten meer rechtgetrokken. Hierdoor kunnen delen van het terrein te nat of te droog gekarteerd worden bij een geringere boringsdichtheid. Deze verschillen lijken het grootst te zijn bij de nattere terreindelen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het belangrijk is in de nattere delen een voldoende hoge waarnemingsdichtheid te hanteren, terwijl in drogere gebieden een geringere dichtheid gehanteerd zou kunnen worden. Ook voor de typering van de standplaats is een afwijking bij ondiepe grondwaterstanden ingrijpende dan bij diepere.

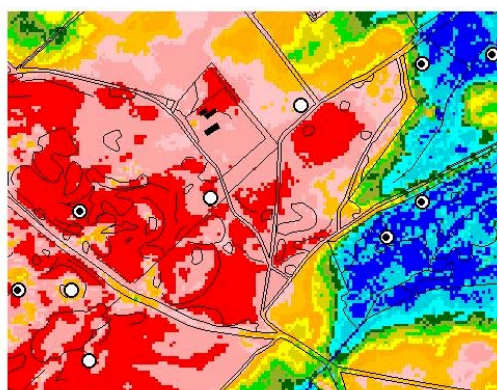
7.2.1.2 Actuele GXG

De gebruikte interpolatiemethode (zie 5.1.4) geeft geen statistische maat voor de kwaliteit van de schatting van de GXG in een bepaalde cel. In figuur 18 geven we een kwalitatieve vergelijking van de interpolatie van de GHG en GLG bij twee verschillende boringsdichtheden.

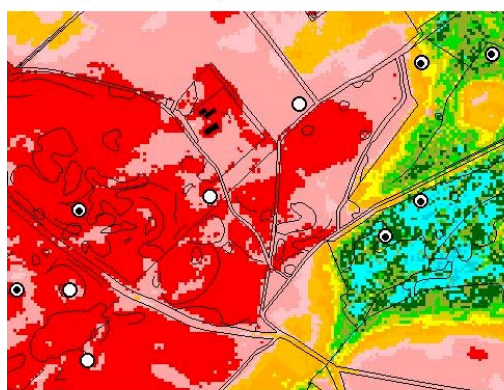
A. GHG op basis van 120 boorpunten



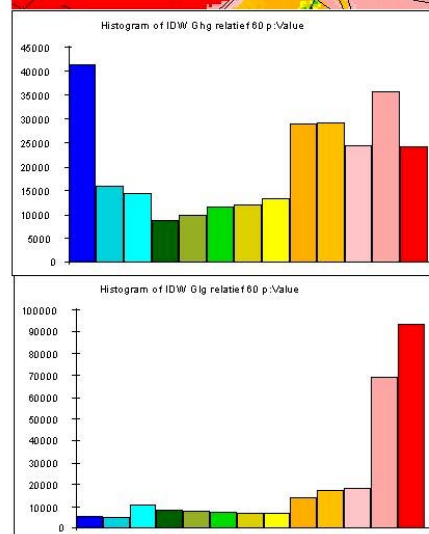
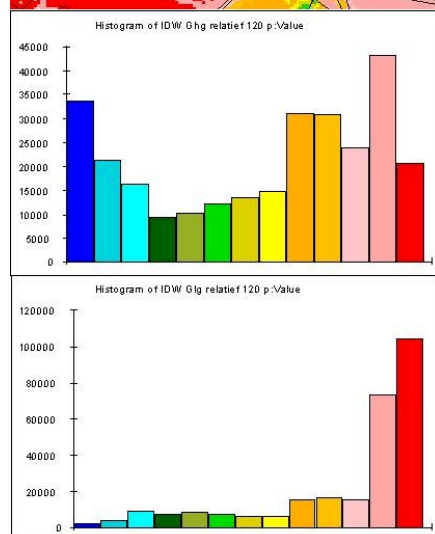
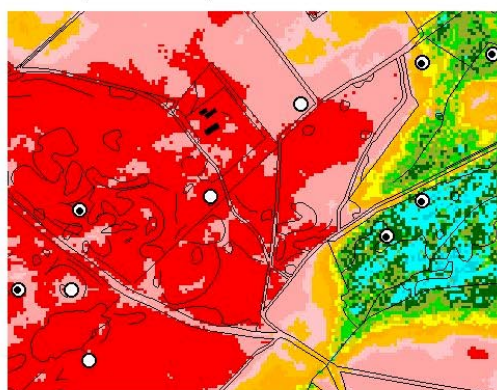
B. GHG op basis van 60 punten



C. GLG op basis van 120 punten



D. GLG op basis van 60 punten



Figuur 18 Effect van de boringsdichtheid op de interpolatie van de actuele GXG. Voor legenda zie figuur 12.

De belangrijkste verschillen treden op voor de schatting van de GHG. Het gebied rondom de Schaapskooi is in zijn geheel droger gekarteerd. Toch geldt dat niet voor het hele gebied van de Strijper Aa. In de histogrammen voor de GHG is te zien dat de klasse ≤ 0 cm – mv. bijna 25% toeneemt, ten kostte van de klassen 0 – 15 en 15 – 30 cm – mv. Ook de droogste klasse is groter geworden. De toename van de extremen is te verklaren uit het wegvallen van tussenpunten, waardoor over grotere afstanden geïnterpoleerd wordt (zie figuur 13). Voor de overige klassen zijn de

verschuivingen veel kleiner, hoewel lokaal wel verschillen kunnen voorkomen in de GHG bij twee dichtheden, maar dat komt niet tot uiting in de totale verdeling. Voor de GLG zijn de verschillen bij de twee dichtheden minder groot, maar daar valt op dat de klasse > 200 cm – mv. ongeveer 10 % kleiner is geworden.

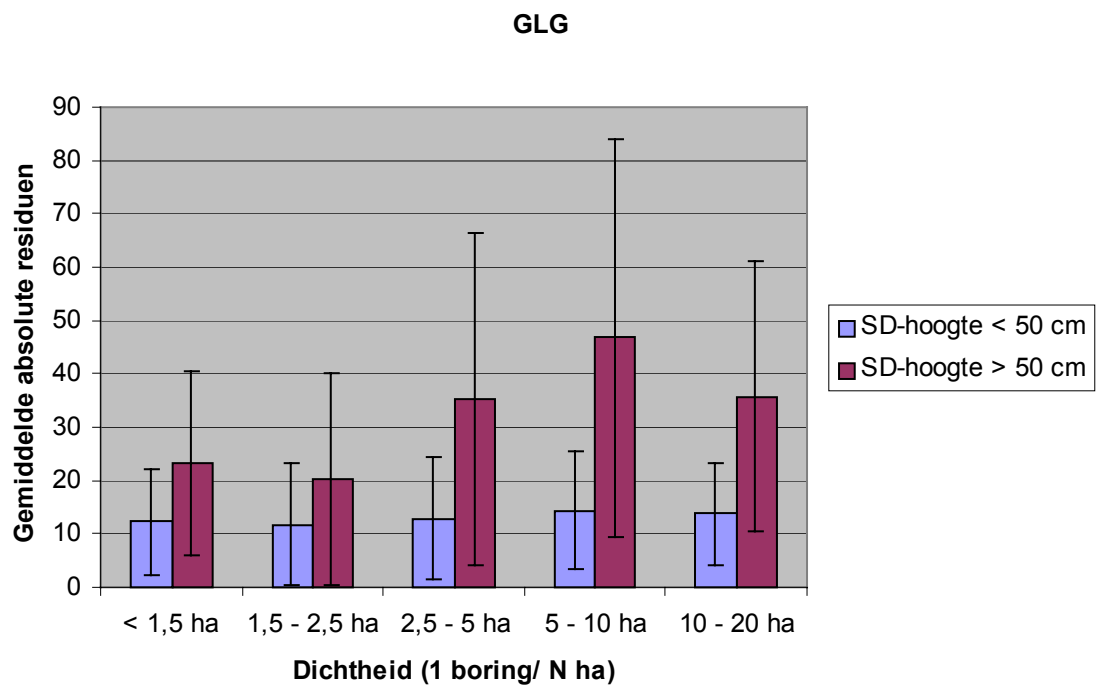
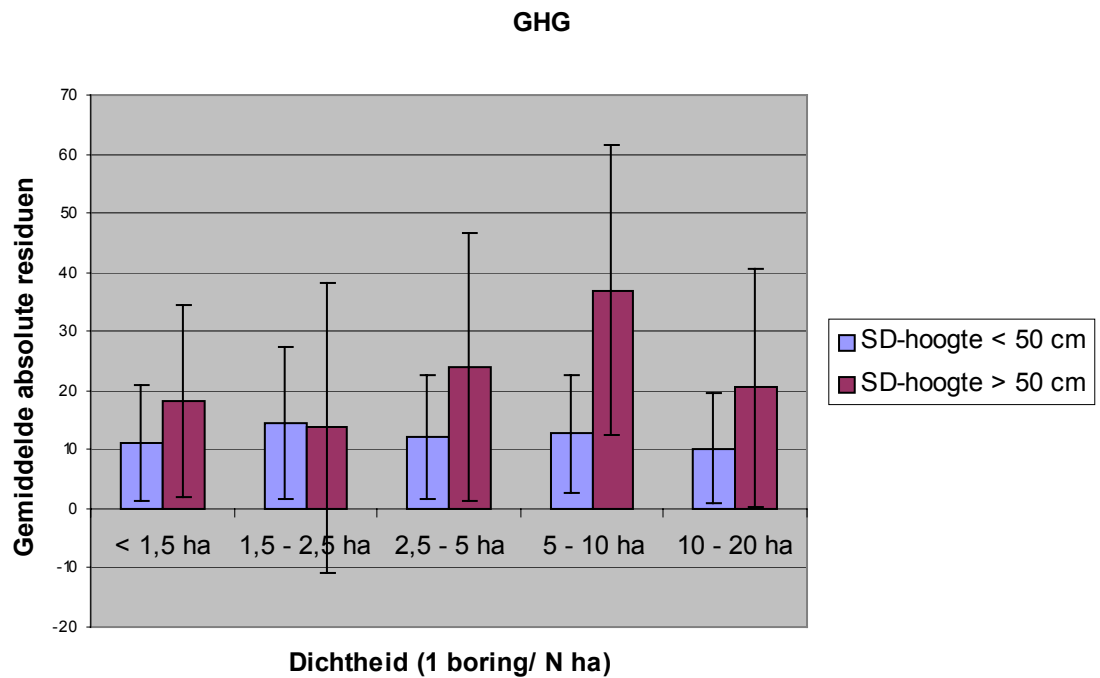
Voor de kartering van de actuele GHG, GVG en GLG op kaart 7a, 7b en 7c zijn we uitgegaan van alle 120 boorgaten. Uit voorgaande analyse kan afgeleid worden dat in in nattere delen van het gebied een hoge dichtheid van boorgaten zinvol is. Voor de drogere delen kan ook met een kleiner aantal boringen volstaan worden.

7.2.2 Beoordeling effect boordichtheid door crossvalidatie

7.2.3 Conclusies ten aanzien van de boordichtheid

Voor de actuele GHG en GLG hebben we een kwantitatieve analyse gemaakt van het effect van de boringsdichtheid op de kwaliteit van de voorspelling van de GXG. Hiervoor hebben we een zgn. ‘crossvalidatie’ uitgevoerd.

De actuele GXG zoals die voorspeld is in de boorgaten, is vlakdekkend in kaart gebracht door middel van ‘Inverse distance weighted’ interpolatie (IDW, zie 5.1.3). Bij een crossvalidatie wordt de interpolatie net zo vaak herhaald, als er punten zijn, waarvoor geïnterpoleerd moet worden, waarbij steeds 1 punt weggelaten wordt. Door vervolgens het verschil (residu) te bepalen tussen de GXG waarde van dat punt en de geïnterpoleerde waarde, wordt een maat verkregen voor de kwaliteit van de interpolatie bij dat punt. In kaart 9 hebben we voor verschillende boringsdichtheden de residuen bepaald in de boorpunten. Door gemiddelde waarden van deze residuen uit te zetten tegen de boringsdichtheid, kan het effect van de boringsdichtheid beoordeeld worden. In figuur 19 hebben we de gemiddelde residuen uitgezet tegen de boringsdichtheid. Hiervoor hebben we crossvalidaties uitgevoerd met respectievelijk 120 en 60 boringen. De boringsdichtheid is afgeleid door per punt de gemiddelde afstand tot de 5 dichtstbijzijnde punten te bepalen en deze om te rekenen naar een boringsdichtheid voor dat punt. Omdat de residuen zowel positieve als negatieve waarden kunnen hebben, is het gemiddelde bepaald van de absolute waarden, anders zou het gemiddelde residu zeer klein kunnen zijn, in gevallen waar zowel grote positieve als negatieve waarden voorkomen.



Figuur 19 Effect boringsdichtheid op residuen.

De spreiding van de residuen is vrij groot. Bij een vergelijking van de residuen bij verschillende boringsdichtheden voor het hele gebied werden dan ook weinig verschillen gevonden. In figuur 19 is echter onderscheid gemaakt in twee reliëfklassen. Hiervoor is op basis van het AHN-bestand de standaarddeviatie van de

maaiveldhoogte in een cirkel van 100 meter doorsnede rondom de cel bepaald (zie kaart 9). Gebieden met een standaarddeviatie < 50 cm (SD-hoogte < 50 in figuur 19) beschouwen we als min of meer vlak. Als de standaarddeviatie groter is, is het gebied reliëfrijk.

Uit figuur 19 blijkt dat in de vlakke gebieden de boringsdichtheid niet veel invloed heeft op de residuen. Dit is ook logisch, omdat in een vlak gebied het grondwaterstands verloop ook min of meer vlak verondersteld mag worden. In reliëfrijke gebieden treden wel verschillen op. Hier neemt, zowel voor de GHG als voor de GLG, het gemiddelde van de residuen sterk toe bij een boringsdichtheid die kleiner is dan 1 boring per 2,5 ha.

7.2.4 Conclusies ten aanzien van de boringsdichtheid

Door bij het plannen van de boringen het gebied eerst te stratificeren naar reliëfklassen, kan een variabele boringsdichtheid gehanteerd worden. Op basis van de resultaten van de analyse in de vorige paragraaf, kan daarbij aangehouden worden dat in een reliëfrijk terrein minimaal 1 boring per 2,5 aan te bevelen is om een goede beschrijving te geven van het grondwaterstandsverloop.

In vlakke terreinen zal in principe met minder boringen volstaan kunnen worden. Hier zal vooral rekening gehouden moeten worden met de grootte van een aaneengesloten vlak gebied, en diepte van het grondwater. In droge vlakke gebieden kan waarschijnlijk met een gering aantal boringen op strategische plaatsen volstaan kunnen worden. Omdat uit de vergelijking van de kaartbeelden in paragraaf 7.2.1 is gebleken dat in nattere terreindelen in het algemeen een te ondiepe GXG voorspeld wordt, zal in elk geval op een aantal strategische plaatsen gemeten moeten worden, zoals in de buurt van overgangen naar hogere delen, en binnen het vlak, als het reliëf daar aanleiding toe geeft.

8 Discussie

In dit rapport is een methode beschreven waarmee de verdroging van een groter natuurgebied als Strijper Aa in kaart gebracht kan worden. Hierbij zijn keuzes gemaakt waarbij de afweging tussen de inspanning die nodig is om gegevens in het veld te verzamelen, of voor het interpreteren van bestaande gegevens, een belangrijke rol speelt. Het gaat er immers om, op een efficiënte wijze een zo goed mogelijke beschrijving van de mate van verdroging te geven, in een voor de gebruiker optimale vorm. Hierbij is een aantal discussiepunten naar voren gekomen die hieronder toegelicht worden.

8.1 Methoden voor bepaling van de RGR

De keuze voor een methode voor het bepalen van de RGR zal afhankelijk zijn van de toepassing. Voor het vaststellen van de RGR op regionale schaal, is de Brabant methode bruikbaar omdat hiermee relatief eenvoudig een beeld verkregen wordt van het grondwaterstandsverloop in de referentieperiode. Indien informatie op lokale schaal gewenst is, bijvoorbeeld voor terreinbeheer, is deze methode te grof, waardoor informatie op perceelsniveau kan afwijken van de werkelijke waarde. De interpolatie van veldschattingen van GXGoud geeft een veel reëler beeld van de GXGref, vooral omdat deze schattingen gebaseerd zijn op waarnemingen in het veld, terwijl de Brabant methode uitgaat van frequentieverdelingen op basis van de landelijk voorkomende variatie binnen bodemeenheden.

Toepassing van interpolatie op basis van veldschattingen vereist wel een goede veldbodemkundige kennis om een schatting van de GXGoud te kunnen maken. Het is niet altijd goed mogelijk hydromorfe kenmerken in het profiel te herkennen, of onderscheid te maken tussen actuele en fossiele kenmerken. De veldbodemkundige zal daarom ook altijd gebruik maken van andere (veld) informatie zoals relatieve maaiveldhoogte, kennis over grondwaterstands dalingen in het gebied en een verwachtingswaarde ten aanzien van de GXG in een bepaald bodemtype. Ook vergelijking met boorpunten in de omgeving waar hydromorfe kenmerken beter herkenbaar zijn, kan helpen een schatting te maken. Een goede voorbereiding van het veldwerk, waarbij relevante informatie over peilbuizen en grondwaterstandsverlagingen verzameld wordt is dan ook noodzakelijk.

8.2 Methoden voor de bepaling van de actuele grondwaterstanden

De methode voor het vaststellen van de actuele GXG-waarden op basis van interpolatie gaat uit van een voldoende dicht meetnet van boorgaten. Hiermee kan door interpolatie de GXG vlakdekkend bepaald worden. Voor middelgrote gebieden, zoals Beekvliet (Van Delft et al., 2002a), maar ook voor Strijper Aa, wordt de inspanning die nodig is om de gegevens in het veld te verzamelen, gecompenseerd

door de relatief eenvoudige verwerking van de gegevens. Voor grote gebieden (> 1000 ha) zal deze aanpak waarschijnlijk te arbeidsintensief worden. In dat geval zal wellicht een benadering zoals bij Gd-karteringen wordt toegepast meer in aanmerking komen.

8.3 Vereiste waarnemingsdichtheden

Ten aanzien van het aantal peilbuizen moet geconcludeerd worden dat een aantal van 15 tot 20 peilbuizen nodig is om de GXG in de boorgaten voldoende nauwkeurig te kunnen voorspellen (zie 7.1). Deze peilbuizen zouden ook goed gespreid moeten zijn over de in het gebied voorkomende GXG-waarden en over het studiegebied. Bovendien is gebleken dat de gegevens van de peilbuizen zoals ligging en beschikbare metingen in DINO voorafgaand aan het veldwerk goed gecontroleerd moeten worden.

De boringsdichtheid zoals deze in Strijper Aa is toegepast (gemiddeld 1 boring / 5,9 ha) is mogelijk aan de lage kant om interpolatie toe te passen. Uit de ervaringen in Beekvliet kan opgemaakt worden dat de boringsdichtheid variabel gemaakt kan worden, afhankelijk van het reliëf en de diepte van de GXG. In vlakke laagtes zal de dichtheid afhankelijk zijn van de grootte van de laagte. Hier wordt de GXG bij een geringe dichtheid vaak te laag ingeschat. Voor deze standplaatsen is het juist erg belangrijk een goede voorspelling te geven van de GXG. In vlakke, relatief droge gebieden kan met een geringe dichtheid volstaan worden. Bovendien kan hier een wat grotere onzekerheid ten aanzien van de GXG geaccepteerd worden. Bijkomend voordeel is, dat de boringen in de drogere delen meer inspanning vergen om tot beneden GLG niveau uit te boren. In reliëfrijke gebieden lijkt 1 boring per 2,5 ha een goede richtlijn.

8.4 Variabelen voor het bepalen van de mate van verdroging

Voor het bepalen van de verdroging als gevolg van verandering van de grondwaterstanden hebben we gekozen voor de verandering van de GXG als maat om de vergelijking uit te voeren. Andere maten die wellicht voor bepaalde vegetatietypen relevanter zijn, zoals inundatieduur of vochtspanning zijn lastiger in kaart te brengen. Op de locaties van de peilbuizen is deze informatie voor de AGR vaak wel af te leiden. Vlakdekkend toepassen hiervan is waarschijnlijk wel gecompliceerder dan voor de GXG het geval is. Voor de RGR is deze informatie niet bekend en zou hooguit via het toepassen van algemene relaties geschat kunnen worden. Omdat dan de vergelijking tussen RGR en AGR niet goed te maken is, lijkt het weinig zinvol andere variabelen te gebruiken voor het vaststellen van de verdroging.

De mate van verdroging is uitgedrukt als de verandering van de GXG. Hierbij is geen rekening gehouden met het vochthoudend vermogen van de bodem dat afhankelijk is van textuur en bewortelingsdiepte. Ook zal de hoogte waarover capillaire

nalevering mogelijk is, de kritieke Z-afstand, verschillen per bodemtype. Een betere benadering zou zijn om het verschil in vochtleverend vermogen en ontwatering als maat te nemen voor de verdroging.

Literatuur

- Bakker, H. de en J. Schelling, 1989. *Systeem van bodemclassificatie voor Nederland; de hogere niveaus*. Wageningen, Pudoc. Tweede gewijzigde druk
- Bierkens, M.F.P., M. Knotters en F.C. van Geer. 1999. "Tijdreeksanalyse nu ook toepasbaar bij onregelmatige meetfrequenties." *Stromingen* 5/2: 43-54.
- 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*. Wageningen, Alterra rapport 118.
- Bossenbroek, Ph. & J.G. Streefkerk, 1994. *Strijper Aa; Naar een verboging van de natuurwaarden in het beekdal*. Roermond, Staatsbosbeheer Regio Peel en Maas.
- Delft, S.P.J. van, 2001. *Ecologische typering van bodems; Deel 2 Humusvormtypologie voor korte vegetaties*. Wageningen, ALTERRA Rapport nr. 268.
- Delft, S.P.J. van, J. Holtland, J.R. Runhaar, P. Mekking, P.C. Jansen, 2002a. *Verdrogingskartering in natuurgebieden; Proefkartering Beekvliet* Wageningen / Driebergen, Alterra / Staatsbosbeheer, Alterra rapport 566.2.
- Delft, B van , R Kemmers en R de Waal 2002b. "Ecologische typering van bodems onder korte vegetaties; Het humusprofiel als graadmeter voor standplaatsontwikkeling" *Landschap* 19(3).
- Deutsch, C.V. & A.G. Journel, 1998. *GSLIB; Geostatistical Software Library and User's Guide; Second Edition*. New York / Oxford, Oxford University Press.
- Dirkx, G.H.P. & H. Kleijer, 1988. *De Bodemgesteldheid, vegetatie en bodemgeschiktheid van Boswachterij Leende en Baronie Cranendonck; Een onderzoek naar de invloed van de bodemgesteldheid en vegetatie op aantal en groei van boomsoorten*. Wageningen, STIBOKA-rapport 1904.
- Ek, R. van, F. Klijn, J. Runhaar, R.J. Stuurman, W. Tamis & J. Reckmans, 1997. *Gewenste grondwatersituatie Noord-Brabant. Deelrapport 1: methode-ontwikkeling voor het bepalen van de optimale grondwatersituatie voor de sector natuur*. Lelystad, RIZA rapport 98.027.
- Finke, P.A., M.F.P. Bierkens en W. Droesen, 1996. *Gebiedsdekkende basisinformatie voor het regionale waterbeheer in het waterschap Rijn en IJssel : programmeringsstudie* Wageningen, DLO-Staring Centrum

Finke, P.A., D.J. Brus, T. Hoogland, J. Oude Voshaar, F. de Vries en D. Walvoort, 1999. *Actuele grondwaterinformatie schaal 1 : 10 000 in de waterschappen Wold en Wieden en Meppelerdiep*. Wageningen, Staring Centrum, Rapport 633.

Finke, P.A., M.F.P. Bierkens, D.J. Brus, J.W.J. van der Gaast, T. Hoogland, M. Knotters, F. de Vries, 2002. *Klimaatrepresentatieve grondwaterdynamiek in Waterschap De Dommel*. Wageningen, Alterra, Rapport 381.

Isaaks, E.H. & R.M. Mohan Srivastava, 1989. *Applied Geostatistics*. New York / Oxford, Oxford University Press.

Iven, Willem & Teo van Gerwen, 1974. *Lind dè is de sgonste plats; natuur en landschap van Leende een oost-brabants dorp*. Leende, Midzomer torenjaar 1974.

IWACO, 2000. *Evaluatie anti-verdrogingsproject Strijper Aa; 1999*.

Jansen, P.C., F. de Vries en J. Runhaar, 1999. *Grondwaterkarakteristieken van bodemeenheden; Het oorspronkelijke grondwaterregime ontleend aan bodemkenmerken*. Wageningen, Alterra. Rapport 694.

Jongeneel, J., 1999. *Evaluatie anti-verdrogingsproject Strijper Aa; 1998*. Boxtel, Waterschap de Dommel.

Knotters, M. en P.E.V. van Walsum, 1994. *Uitschakeling van weersinvloeden bij de karakterisering van het grondwaterstandsverloop*. Wageningen, Staring Centrum. SC-rapport 350.

Looy, A.M.T. van de, 1998. *Evaluatie anti-verdrogingsproject Strijper Aa; 1997*. Boxtel, Waterschap de Dommel.

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

Projectgroep GGOS en classificatie, 1999. *Gewenste grond- en Oppervlaktewater- Situatie voor Bos- en Natuurgebieden*. Waterschap Reest & Wieden.

Runhaar, Han, Remco van Ek, Frans Klijn, Rob Ruijtenberg & Roelof Stuurman, 1998. "Gewenste Grondwatersituatie Natuur; Bepaling van de optimale grondwatersituatie op provinciale schaal." *Landschap 1998/4* 181-194

Runhaar, J., G. van Wirdum, C.M.A. Hendriks, 2000. *Naar een meetnet Verdroging*. Wageningen, Alterra-rapport 108

Rijks Geologische Dienst, 1993. *Geo-hydrologisch meetnet in het stroomgebied van de Strijper Aa*. Haarlem, Rijks Geologisch Dienst. Rapportnummer BP 11.030.

Sluijs. P. van der, 1990. Hoofdstuk 11: Grondwatertrappen, p. 167-180. In: W.P. Locher en H. de Bakker (redactie). *Bodemkunde van Nederland, deel 1: Algemene Bodemkunde*. 2^e druk. Den Bosch, Malmberg.

Stiboka, 1972. *Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000; toelichting bij kaartblad 57 Oost, en 58 West*. Wageningen, STIBOKA.

Wieberdink, G.L., 1989. *Historische Atlas Noord-Brabant; Chromotopografische Kaart des Rijks 1 : 25 000*. Den Ilp, Uitgeverij Robas Producties.

Aanhangsel 1 Waarnemingen in boorgaten

Algemeen				Profielkenmerken	Schatting GXG				Metingen						
PUNT	X (m)	Y (m)	Z (cm)	pH-KCl	Referentie		Huidig		Zomer			Winter			
				0 - 40 cm - mv. gem (min – max)	GHG	GLG	GHG	GLG	gws	pH	EGV (mS/cm)	gws	pH	EGV (mS/cm)	
p1101a	164830	370840	2613	2,45 (2,4 - 2,5)	0	90	20	140	120	4,14	4,25		23		14,40
p1102a	165655	367360	2904	2,92 (2,5 - 3,9)	50	170	90	210	175	5,39	9,19		74	3,83	20,30
p1103a	164395	369130	2684	3,10 (2,7 - 3,5)	0	60	30	140	80	4,50	6,10		27		9,37
p1104a	164215	367915	2877	3,00 (2,5 - 3,5)	35	140	70	180	150	4,48	3,06		32	3,38	16,50
p1105a	165895	367315	2900	2,93 (2,5 - 3,7)			50	190	173	5,57	6,06		47		21,10
p1106a	166285	367945	2818	4,50 (4,5 - 4,5)	30	130	60	170	160	4,64	11,70		64	4,08	5,20
p1107a	164440	369985	2685	3,09 (2,6 - 4,0)	0	90	15	140	113	4,22	6,39		18	3,30	19,90
p1108a	166300	367390	2869	3,09 (2,8 - 3,5)	10	130	70	190	155	4,04	10,10		42	3,58	15,80
p1109a	164260	369385	2738	3,25 (3,0 - 3,5)	60	180	130	250	208				90		15,90
p1110a	165925	367450	2902	3,03 (2,8 - 3,5)	30	150	100	200	196	5,12	6,97		85		12,00
p1111a	164995	368335	2833	2,97 (2,5 - 4,2)	70	145	85	190	165	4,17	21,10		85	3,84	64,80
p1112a	164800	370720	2708	2,79 (2,6 - 3,0)	80	220	110	260	234	4,30	3,14		123		7,42
p1113a	164635	370990	2710	3,56 (3,0 - 4,0)	60	170	140	240	203	4,33	3,92		108		
p1114b	164590	370795	2722	3,25 (3,0 - 3,5)	50	170	150	250	223	4,40	2,92		125		
p1115	166165	367363	2924	3,09 (2,6 - 3,5)			100	220	197	4,22	8,15		76		12,10
p1116a	164830	371125	2659	3,63 (3,4 - 4,0)	30	130	70	195	180	4,31	4,53		83		
p1117	164641	370576	2734	3,33 (3,0 - 3,8)	50	170	100	200	194	4,22	3,91		71		
p1118a	164755	371050	2678	3,30 (3,0 - 3,7)	50	170	110	230	203	4,51	2,43		102		5,94
p1119a	164500	370855	2760	3,27 (2,9 - 4,0)	60	195	155	270	242				162		
p1120	164576	370307	2836	2,62 (2,5 - 3,0)	100	240	150	300	d				185		
p1121a	166105	367450	2977	2,64 (2,5 - 3,0)		130	100	200	149	6,40	2,81		77	3,51	12,90
p1122a	164320	369700	2845	2,86 (2,6 - 3,2)	110	220	170	300	d				175		14,30
p1123a	164740	370435	2802	2,66 (2,5 - 3,0)	130		210	350	d				200		
p1124a	164305	370915	2841	3,29 (3,0 - 4,2)	90	190	160	300	d				220		
p1125a	164680	371050	2807	3,16 (2,7 - 4,0)	220				d				d		
p1201	165754	368696	2634	3,17 (3,0 - 3,5)	5	75	10	100	48	4,12	6,83		18	3,23	0,21
p1202	165775	370114	2484	4,40 (4,4 - 4,4)	-30	10	-10	10	3	4,32	42,80		-20	5,16	10,50

Algemeen				Profielkenmerken		Schatting GXG				Metingen				
PUNT	X (m)	Y (m)	Z (cm)	pH-KCl	Referentie		Huidig		Zomer			Winter		
				0 - 40 cm - mv.	GHG	GLG	GHG	GLG	gws	pH	EGV	gws	pH	EGV
				gem (min – max)					(cm – mv.)		(mS/cm)	(cm – mv.)		(mS/cm)
p1203	165682	370121	2479	5,06 (4,8 - 5,2)	-30	5	-10	8	3	6,03	25,30	-20	5,82	13,20
p1204a	164949	368958	2590	4,09 (4,0 - 4,2)	-20	30	0	50	12	4,53	39,90	0	4,63	18,30
p1205	165645	370147	2481	4,76 (4,0 - 6,0)	-20	20	-5	30	0	5,01	37,90	-20	5,85	12,60
p1206	165552	370094	2501	4,90 (4,9 - 4,9)	-15	30	-5	40	7	5,41	39,50	-5	5,70	10,90
p1207a	165609	370083	2501	4,50 (4,5 - 4,5)	-20	30	-5	40	6	5,74	23,20	-7	5,97	9,81
p1208b	165609	369948	2520	4,30 (4,3 - 4,3)	0	60	10	70	26	5,82	21,00	3	4,71	13,60
p1209	165452	369978	2527	4,19 (4,2 - 4,2)	-20	40	-5	65	14	5,06	73,20	-25	5,66	12,80
p1210	165628	370219	2500	5,30 (4,5 - 5,8)	-30	20	-30	20	-6	6,20	27,50		5,91	12,50
p1211	166057	368209	2627	5,00 (5,0 - 5,0)	-30	0	-30	0	-10	4,13	32,30	-17	5,36	8,03
p1212a	165354	368328	2626	4,25 (4,0 - 4,5)			-20	20	-10	4,97	35,10	-15	4,67	5,50
p1213a	165594	370368	2488	4,25 (4,0 - 4,5)	0	40	5	55	22	5,50	19,00	1	4,89	12,30
p1214	165580	368218	2631	4,39 (3,7 - 5,1)	-20	10	-20	10	0	4,17	76,10	-6	3,12	2,32
p1215a	165549	370308	2489	5,23 (5,0 - 5,5)	0	35	0	50	11	5,93	24,10	-7	5,76	14,10
p1216a	165294	368268	2630	4,50 (4,5 - 4,5)	-10	20	-10	20	0	5,45	43,80	-23	5,69	15,20
p1217b	165654	368448	2621	4,50 (4,0 - 5,0)			-20	20	-6	4,95	21,60	-12	5,87	14,00
p1218a	165039	369738	2552	3,50 (3,5 - 3,5)	0	60	15	90	45	6,00	24,00	16	5,09	8,60
p1219	165847	368039	2627	4,02 (3,0 - 4,8)	-30	10	-30	10	5	4,71	16,40	-4	3,60	10,00
p1220	165707	370308	2485	5,19 (4,5 - 5,6)	-10	30	-10	30	3	5,66	26,90	-15	5,88	18,20
p1221b	166029	368073	2656	4,26 (4,0 - 4,5)	-10	10	-10	10	5	4,63	22,30	0	5,06	7,76
p1222	165649	370501	2472	4,73 (4,5 - 5,2)	0	40	10	50	22	6,23	21,10	12	4,49	8,26
p1223	165775	368118	2639	4,00 (4,0 - 4,0)	-10	20	-10	20	5	4,33	30,50	-11	3,68	10,40
p1224	165580	368400	2615	4,40 (4,4 - 4,4)			-20	20	0	5,50	43,30	-10	5,37	10,90
p1225a	165954	370308	2524	2,79 (2,8 - 2,8)	10	70	20	125	67	4,21	17,00	36	3,28	15,50
p2101	167108	368876	2701	5,00 (5,0 - 5,0)	0	70	20	100	82	5,07	11,40	0	5,75	5,38
p2102a	167188	368972	2706	5,50 (5,5 - 5,5)	0	70	20	110	55	6,29	18,20	5	5,89	6,61
p2103b	167053	369227	2621	5,09 (5,1 - 5,1)	10	100	30	150	67	5,24	85,50	5	5,59	14,10
p2104a	165133	368807	2770	4,50 (4,5 - 4,5)	30	100	65	180	180			115	5,39	5,39
p2105	167176	369373	2646	5,50 (5,5 - 5,5)	0	60	10	100	79	6,49	22,70	4	6,01	13,60

Algemeen				Profielkenmerken		Schatting GXG				Metingen				
PUNT	X (m)	Y (m)	Z (cm)	pH-KCl 0 - 40 cm - mv. gem (min – max)	Referentie		Huidig		Zomer gws (cm – mv.)	pH	EGV (mS/cm)	Winter		
					GHG	GLG	GHG	GLG				gws (cm – mv.)	pH	EGV (mS/cm)
p2106a	165163	367487	2801	5,40 (5,4 - 5,4)	10	90	30	130	54	5,39	107,00	2	5,91	28,80
p2107a	165103	367247	2838	6,00 (6,0 - 6,0)	10	95	30	130	85	5,93	6,00	27	5,89	
p2108a	165073	366842	2963	3,75 (3,5 - 4,0)	25	140	90	190	151	5,77	1,04	75	4,42	2,49
p2109a	165283	367322	2862	4,00 (4,0 - 4,0)	15	100	45	150	118	5,54	11,50	38		11,00
p2110a	165298	366917	2988	3,50 (3,5 - 3,5)	30	175	75	210	198	4,61	1,97	78	4,15	8,16
p2111a	165313	367067	2921	4,69 (4,7 - 4,7)	30	125	60	170	143	4,68	4,76	48	5,22	16,40
p2112a	165148	368492	2749	4,80 (4,8 - 4,8)	20	110	35	140	115	5,75	4,86	15	5,69	5,26
p2113a	165388	367412	2888	5,00 (5,0 - 5,0)	30	60	60	160	135	4,60	4,24	34	5,67	7,24
p2114a	165478	367247	2931	3,50 (3,5 - 3,5)	50	90	90	230	184	4,96	2,49	95		5,76
p2115a	165703	366947	2964	3,50 (3,5 - 3,5)	25	130	90	190	184	4,78	4,20	50		
p2116a	164758	368177	2820	3,16 (3,0 - 3,5)	25	140	55	180	136	4,28	15,70	39	3,79	24,20
p2117a	164563	367487	2884	4,50 (4,5 - 4,5)	-20	70	-10	100	61	5,93	0,66	-50	2,36	5,24
p2118a	165283	367667	2839	4,80 (4,8 - 4,8)	20	100	45	150	128	4,57	23,50	27		
p2119a	165178	367862	2834	5,00 (5,0 - 5,0)	20	130	45	165	135	4,72	17,40	58		21,60
p2120a	163753	368357	2861	3,39 (2,8 - 4,0)	30	150	90	200	197	4,26	1,33	32	4,42	2,42
p2121a	164443	368132	2864	3,25 (3,0 - 3,5)	20	135	70	170	158			36	4,24	4,20
p2122a	163903	369152	2850	3,70 (3,7 - 3,7)	60	190	140	260	235			82		2,71
p2123b	166588	367847	2850	4,50 (4,0 - 5,0)		155	105	210	176	4,70	6,59	95		4,80
p2124a	166633	369077	2768	3,33 (3,0 - 3,5)	45	140	75	190	170	4,72	3,97	102	3,99	5,04
p2125a	164548	367562	2927	3,84 (3,5 - 4,2)	30	150	70	190	155	5,19	0,56	62		2,79
p2126a	163693	368057	2909	0,00 (0,0 - 0,0)	90	190	130	250	250			88		4,07
p2127a	164248	368072	2889	3,50 (3,5 - 3,5)	15	130	45	165	160	4,70	1,39	38		3,11
p2128a	163903	368102	2897	0,00 (0,0 - 0,0)	50	150	85	180	204	4,31	2,08			3,04
p2129a	166828	369182	2813	4,54 (4,4 - 4,7)	30	210	110	250	222			152		9,04
p2130a	164218	368597	2828	3,16 (3,0 - 4,0)	60	170	90	200	230	4,60	1,04	98		3,62
p2131	164194	368069	2884	3,50 (3,0 - 4,0)	30	125	70	180	149	4,82	0,98	27	2,68	
p2132a	163828	368297	2869	3,32 (3,0 - 4,0)	70	180	125	210	214	4,16	1,55	55		2,22
p2133a	165673	367922	2840	3,56 (3,2 - 4,0)	50		75	210	178	4,80	16,10	97		3,93

Algemeen				Profielkenmerken		Schatting GXG				Metingen				
PUNT	X (m)	Y (m)	Z (cm)	pH-KCl	Referentie		Huidig		Zomer		Winter			
				0 - 40 cm - mv. gem (min – max)	GHG	GLG	GHG	GLG	gws (cm – mv.)	pH	EGV (mS/cm)	gws (cm – mv.)	pH	EGV (mS/cm)
p2134a	167068	369422	2815	3,02 (2,6 - 3,5)	50	150	100	200	171	4,39	1,21	92	4,84	4,42
p2135a	164668	368177	2913	3,75 (3,5 - 4,0)	180				d			194	3,63	6,68
p2136a	164128	368342	2894	0,00 (0,0 - 0,0)	65	180	110	230	245			104		4,42
p2137a	165598	367007	3044	3,75 (3,5 - 4,0)	60	180	140	270	d			109		
p2138a	165913	367547	2872	3,50 (3,0 - 4,0)	10	110	50	150	145	5,91	1,49	33		1,01
p2139a	165568	366872	3039	3,73 (3,5 - 4,0)	65	220	110	280	d			100		
p2140a	164788	368057	2937	3,73 (3,0 - 4,2)	135	215	185	280	d			176	3,83	11,70
p2141a	164368	368447	2929	4,00 (3,5 - 4,5)	150	250	190	300	d			175		2,36
p2142a	164668	367967	2977	4,30 (4,3 - 4,3)	140	215	180	270	d			155		
p2143a	165943	367772	2939	4,05 (3,8 - 4,3)	180				d			d		
p2144a	163993	369272	2857	2,83 (2,5 - 3,5)	30	180	150	250	223	4,46	2,08	121		3,15
p2145a	164773	368312	3137	3,35 (3,0 - 3,7)	150	252	251	251	d			d		
p2201a	165070	368938	2598	4,93 (4,7 - 5,2)	-20	50	0	70	18	5,57	9,22	0	4,63	18,80
p2202a	165250	369598	2552	5,00 (5,0 - 5,0)	0	70	20	100	70			15	5,69	10,70
p2203b	166420	368683	2641	5,00 (5,0 - 5,0)	0	70	10	90	21	6,01	53,50	0	5,70	20,70
p2204a	166885	369073	2644	5,00 (5,0 - 5,0)	0	50	5	90	61	6,09	34,50	0	5,92	21,00
p2205a	166840	369088	2639	5,40 (5,4 - 5,4)	0	70	10	110	58	6,20	47,60	0	5,87	18,50
p2206a	164920	368878	2676	4,90 (4,9 - 4,9)	10	65	30	95	79	6,17	17,40	18	5,67	7,02
p2207a	164875	368893	2649	4,90 (4,9 - 4,9)	10	60	35	100	56	6,01	2,76	9	5,51	9,07
p2208a	165175	369628	2572	5,00 (5,0 - 5,0)	0	70	20	90	45			0	5,38	2,56
p2209a	165475	368578	2620	4,19 (4,2 - 4,2)	0	60	5	70	17	6,54	44,50	2	4,77	8,50
p2210c	165280	369043	2566	5,00 (4,5 - 5,5)	-10	50	-10	60	6	5,81	23,20	-15	5,72	12,70
p2211a	165070	367918	2710	3,50 (3,5 - 3,5)	35	90	50	110	65	7,81	33,30	46	4,93	22,00
p2212b	165595	370468	2508	5,53 (5,0 - 5,8)	0	60	20	80	35	6,00	16,80	18	5,77	29,30
p2213b	165310	369943	2572	4,59 (4,5 - 4,7)	0	60	35	100	60			8	4,88	4,57
p2214a	167005	369268	2621	5,50 (5,5 - 5,5)	0	60	10	110	61	5,80	29,40	-5	5,77	3,19
p2215a	164770	368848	2658	6,00 (6,0 - 6,0)	5	55	20	90	50	6,38	14,30	11	6,47	24,00
p2216a	164620	368938	2659	3,35 (3,0 - 3,8)	-20	50	-10	90	25	4,70	5,29	-15	3,74	5,20

Algemeen				Profielkenmerken	Schatting GXG				Metingen							
PUNT	X (m)	Y (m)	Z (cm)	pH-KCl 0 - 40 cm - mv. gem (min – max)	Referentie GHG	GLG	Huidig GHG	GLG	Zomer gws (cm – mv.)	pH	EGV (mS/cm)	Winter gws (cm – mv.)	pH	EGV (mS/cm)		
p2217a	165355	368563	2641	4,50 (4,5 - 4,5)			15	80	42	5,77	12,90	3	5,36	14,50		
p2218a	164365	369058	2641	3,40 (3,2 - 3,5)	-30	50	-25	70	27	4,63	5,17	-30		3,49		
p2219a	164830	367738	2747	5,15 (5,0 - 5,3)	-5	50	0	75	36	7,20	13,90	1	6,34	26,90		
p2220a	164935	367333	2790	5,80 (5,8 - 5,8)	0	60	35	100	54	6,20	0,58	30	5,87	9,70		
p2221a	166675	369043	2637	5,00 (5,0 - 5,0)	0	60	10	105	60	6,14	47,00	0	5,88	5,61		
p2222a	164170	368848	2698	3,35 (3,2 - 3,5)	0	65	10	100	74	4,61	4,40	2	4,32	5,18		
p2223b	164875	367063	2916	4,30 (4,3 - 4,3)	0	80	30	110	95	6,43	7,90	14	5,19	6,52		
p2224a	166660	368368	2699	5,00 (5,0 - 5,0)	20	70	30	130	37	6,60	30,10	-1	6,29	12,10		
p2225a	165775	367903	2813	3,33 (3,0 - 3,6)			60	160	152	4,10	7,27	69	3,88	4,77		

Aanhangsel 2 Klimaatrepresentatieve GXG in boorgaten

De GXG-waarden waarvan de genormaliseerde mate van extrapolatie groter is dan 4 zijn grijs gemarkeerd.

Boorpunt	GHG						GVG						GLG					
	s.d.	Mate van extrapolatie	N-buizen	N-gerichtmetingen	Mate van extrapolatie, genormaliseerd		s.d.	Mate van extrapolatie	N-buizen	N-gerichtmetingen	Mate van extrapolatie, genormaliseerd		s.d.	Mate van extrapolatie	N-buizen	N-gerichtmetingen	Mate van extrapolatie, genormaliseerd	
p1101a	63	10,8	0,34	19	2	1,61	90	10,4	0,30	19	2	1,43	169	11,4	0,33	19	2	1,55
p1102a	119	11,8	0,29	19	2	1,36	144	11,0	0,25	19	2	1,20	213	13,4	0,28	19	2	1,31
p1103a	43	9,6	0,11	19	2	0,54	66	10,0	0,11	19	2	0,52	119	11,2	0,11	19	2	0,53
p1104a	90	11,2	0,66	19	2	3,16	119	10,9	0,58	19	2	2,77	216	11,5	0,63	19	2	3,00
p1105a	105	13,7	0,73	19	2	3,46	134	12,7	0,64	19	2	3,06	225	15,4	0,70	19	2	3,33
p1106a	106	11,6	0,25	19	2	1,19	131	10,9	0,22	19	2	1,04	199	13,2	0,24	19	2	1,14
p1107a	57	10,8	0,33	19	2	1,57	84	10,4	0,30	19	2	1,41	162	11,3	0,32	19	2	1,51
p1108a	93	12,9	0,54	19	2	2,55	121	12,0	0,47	19	2	2,24	204	14,6	0,52	19	2	2,45
p1109a	140	11,6	0,60	19	2	2,87	167	11,7	0,52	19	2	2,48	257	13,3	0,57	19	2	2,71
p1110a	137	12,3	0,39	19	2	1,85	161	11,5	0,35	19	2	1,66	235	13,9	0,38	19	2	1,79
p1111a	119	11,0	0,12	19	2	0,59	140	10,4	0,12	19	2	0,55	194	12,5	0,12	19	2	0,57
p1112a	167	11,8	0,59	19	2	2,82	193	11,3	0,53	19	2	2,51	277	12,4	0,57	19	2	2,69
p1113a	143	10,9	0,36	19	2	1,73	168	10,5	0,32	19	2	1,52	243	11,5	0,35	19	2	1,65
p1114b	161	11,2	0,45	19	2	2,12	186	10,8	0,40	19	2	1,91	262	11,8	0,43	19	2	2,03
p1115	133	12,9	0,54	19	2	2,57	159	12,0	0,48	19	2	2,29	241	14,6	0,52	19	2	2,48
p1116a	120	10,8	0,33	19	2	1,59	146	10,4	0,29	19	2	1,36	223	11,3	0,32	19	2	1,51
p1117	124	11,9	0,63	19	2	3,01	153	11,4	0,55	19	2	2,60	246	12,5	0,60	19	2	2,85
p1118a	141	11,1	0,41	19	2	1,95	166	10,7	0,36	19	2	1,71	245	11,7	0,39	19	2	1,86
p1119a	186	11,1	0,43	19	2	2,04	208	10,9	0,42	19	2	2,00	271	11,8	0,42	19	2	2,00
p1120	179	20,5	0,34	19	1	3,26	198	24,3	0,39	19	1	3,73	228	42,0	0,35	19	1	3,37
p1121a	106	10,8	0,09	19	2	0,40	127	10,3	0,08	19	2	0,38	177	12,3	0,08	19	2	0,40
p1122a	170	20,1	0,29	19	1	2,79	189	23,8	0,34	19	1	3,18	220	41,2	0,30	19	1	2,88
p1123a	192	21,1	0,43	19	1	4,05	211	25,1	0,49	19	1	4,63	240	43,4	0,44	19	1	4,19
p1124a	210	22,0	0,55	19	1	5,27	229	26,3	0,63	19	1	6,02	255	45,3	0,57	19	1	5,44
p1125a																		
p1201	24	11,5	0,14	19	2	0,65	44	11,5	0,14	19	2	0,68	81	11,9	0,14	19	2	0,65
p1202	-19	14,3	0,31	19	2	1,49	3	14,6	0,33	19	2	1,54	43	13,8	0,37	19	1	3,54
p1203	-19	14,3	0,31	19	2	1,49	3	14,6	0,33	19	2	1,54	43	13,8	0,37	19	1	3,54
p1204a	-5	12,2	0,27	19	2	1,28	14	12,1	0,28	19	2	1,34	43	12,6	0,27	19	2	1,28
p1205	-20	14,3	0,32	19	2	1,51	2	14,7	0,33	19	2	1,57	40	13,8	0,37	19	1	3,54
p1206	-6	14,0	0,26	19	2	1,24	15	14,3	0,27	19	2	1,28	46	13,4	0,31	19	1	2,90
p1207a	-8	14,1	0,27	19	2	1,27	13	14,4	0,28	19	2	1,31	45	13,5	0,31	19	1	2,98
p1208b	6	13,7	0,20	19	2	0,94	27	14,0	0,21	19	2	0,98	63	13,3	0,27	19	1	2,59
p1209	-20	14,4	0,33	19	2	1,58	4	14,7	0,34	19	2	1,63	53	13,9	0,40	19	1	3,78
p1210	-11	25,2	0,31	19	1	2,94	10	22,5	0,32	19	1	3,02	35	13,5	0,31	19	1	2,94
p1211	-25	12,7	0,37	19	2	1,75	-6	12,6	0,38	19	2	1,83	23	13,0	0,37	19	2	1,76
p1212a	-24	12,7	0,37	19	2	1,77	-5	12,6	0,39	19	2	1,84	22	13,1	0,37	19	2	1,77

Boorpunt	GHG	s.d.	Mate van extrapolatie	N-buizen	N-gerichtemetingen	Mate van extrapolatie, genormaliseerd	GVG	s.d.	Mate van extrapolatie	N-buizen	N-gerichtemetingen	Mate van extrapolatie, genormaliseerd	GLG	s.d.	Mate van extrapolatie	N-buizen	N-gerichtemetingen	Mate van extrapolatie, genormaliseerd
p1213a	4	13,7	0,21	19	2	1,00	24	14,0	0,22	19	2	1,04	60	13,3	0,28	19	1	2,66
p1214	-14	12,5	0,33	19	2	1,57	5	12,4	0,34	19	2	1,63	30	12,9	0,33	19	2	1,57
p1215a	-6	14,0	0,25	19	2	1,21	15	14,3	0,26	19	2	1,25	50	13,5	0,31	19	1	2,98
p1216a	-23	12,5	0,33	19	2	1,57	-1	12,4	0,35	19	2	1,64	39	12,9	0,33	19	2	1,58
p1217b	-21	12,6	0,35	19	2	1,68	-1	12,5	0,37	19	2	1,75	25	13,0	0,35	19	2	1,68
p1218a	23	13,3	0,14	19	2	0,67	43	13,6	0,15	19	2	0,69	80	13,0	0,22	19	1	2,13
p1219	-11	12,4	0,30	19	2	1,44	9	12,3	0,31	19	2	1,50	36	12,7	0,30	19	2	1,44
p1220	-15	14,2	0,29	19	2	1,40	6	14,5	0,31	19	2	1,45	43	13,7	0,35	19	1	3,32
p1221b	-9	12,4	0,32	19	2	1,51	10	12,4	0,33	19	2	1,56	34	12,8	0,32	19	2	1,51
p1222	12	13,7	0,20	19	2	0,97	32	14,0	0,21	19	2	1,00	60	13,1	0,24	19	1	2,26
p1223	-14	12,3	0,29	19	2	1,39	6	12,3	0,31	19	2	1,45	39	12,7	0,29	19	2	1,39
p1224	-16	12,4	0,32	19	2	1,52	3	12,4	0,33	19	2	1,58	32	12,8	0,32	19	2	1,52
p1225a	46	13,1	0,09	19	2	0,44	65	13,3	0,10	19	2	0,45	100	12,7	0,16	19	1	1,53
p2101	36	12,2	0,46	19	2	2,20	74	12,0	0,34	19	1	3,24	139	12,5	0,45	19	2	2,14
p2102a	22	11,0	0,19	19	2	0,89	49	11,8	0,32	19	1	2,99	98	11,3	0,19	19	2	0,89
p2103b	29	11,2	0,25	19	2	1,17	60	11,8	0,32	19	1	2,99	115	11,6	0,24	19	2	1,14
p2104a	145	11,7	0,17	19	2	0,81	162	11,7	0,18	19	2	0,87	205	12,1	0,17	19	2	0,82
p2105	36	11,7	0,36	19	2	1,71	71	11,9	0,32	19	1	3,04	133	12,1	0,35	19	2	1,66
p2106a	20	9,4	0,18	19	2	0,85	43	9,4	0,18	19	2	0,86	97	9,8	0,18	19	2	0,85
p2107a	48	9,2	0,13	19	2	0,63	71	9,2	0,12	19	2	0,59	129	9,6	0,13	19	2	0,61
p2108a	106	9,5	0,21	19	2	1,02	130	9,4	0,18	19	2	0,86	199	9,9	0,20	19	2	0,96
p2109a	72	9,6	0,24	19	2	1,13	97	9,5	0,21	19	2	0,98	170	10,0	0,23	19	2	1,08
p2110a	136	11,4	0,74	19	2	3,54	164	11,1	0,65	19	2	3,06	262	11,8	0,71	19	2	3,35
p2111a	91	10,1	0,37	19	2	1,77	118	9,9	0,32	19	2	1,53	200	10,5	0,35	19	2	1,68
p2112a	57	12,7	0,50	19	2	2,38	85	11,9	0,45	19	2	2,12	165	14,4	0,48	19	2	2,30
p2113a	81	10,4	0,44	19	2	2,10	108	10,2	0,39	19	2	1,83	195	10,7	0,42	19	2	1,99
p2114a	133	10,1	0,37	19	2	1,75	158	9,9	0,32	19	2	1,51	236	10,5	0,35	19	2	1,66
p2115a	117	12,0	0,94	19	2	4,45	148	11,6	0,82	19	2	3,88	255	12,4	0,89	19	2	4,22
p2116a	79	10,7	0,32	19	2	1,52	105	10,3	0,28	19	2	1,32	184	11,3	0,31	19	2	1,45
p2117a	6	11,5	0,76	19	2	3,59	35	11,4	0,74	19	2	3,49	129	11,9	0,74	19	2	3,52
p2118a	69	10,9	0,37	19	2	1,76	96	10,5	0,33	19	2	1,55	178	11,5	0,35	19	2	1,69
p2119a	89	11,0	0,11	19	2	0,54	112	10,3	0,10	19	2	0,47	169	12,5	0,11	19	2	0,52
p2120a	87	12,1	0,62	19	2	2,96	115	12,3	0,55	19	2	2,59	216	12,7	0,17	19	1	1,64
p2121a	96	11,4	0,72	19	2	3,44	125	11,0	0,63	19	2	3,01	226	11,7	0,69	19	2	3,27
p2122a	152	13,7	11,6	19	2	55,14	183	13,0	10,19	19	2	48,39	296	14,3	11,05	19	2	52,50
p2123b	130	11,1	0,14	19	2	0,67	151	10,5	0,14	19	2	0,66	204	12,6	0,14	19	2	0,66
p2124a	135	10,7	0,14	19	2	0,67	154	10,6	0,05	19	1	0,51	204	11,1	0,14	19	2	0,67
p2125a	104	10,1	0,36	19	2	1,70	130	9,9	0,31	19	2	1,45	210	10,4	0,34	19	2	1,61
p2126a	140	12,2	0,65	19	2	3,09	167	12,3	0,56	19	2	2,67	263	12,1	0,06	19	1	0,61
p2127a	98	11,4	0,73	19	2	3,44	127	11,0	0,63	19	2	3,01	227	11,7	0,69	19	2	3,27
p2128a	147	24,1	0,20	19	1	1,91	163	21,4	0,19	19	1	1,83	222	12,9	0,20	19	1	1,88
p2129a	190	11,8	0,39	19	2	1,83	202	10,8	0,10	19	1	0,92	248	12,3	0,39	19	2	1,85
p2130a	138	11,3	0,42	19	2	2,00	163	11,5	0,36	19	2	1,73	245	12,1	0,06	19	1	0,54

Boorpunt	GHG						GVG						GLG					
	s.d.	Mate van extrapolatie	N-buizen	N-gerichtemetingen	Mate van extrapolatie, genormaliseerd		s.d.	Mate van extrapolatie	N-buizen	N-gerichtemetingen	Mate van extrapolatie, genormaliseerd		s.d.	Mate van extrapolatie	N-buizen	N-gerichtemetingen	Mate van extrapolatie, genormaliseerd	
p2131	88	11,4	0,73	19	2	3,44	117	11,1	0,64	19	2	3,03	217	11,7	0,69	19	2	3,28
p2132a	107	11,9	0,57	19	2	2,72	134	12,0	0,49	19	2	2,35	231	12,4	0,11	19	1	1,09
p2133a	132	11,1	0,14	19	2	0,69	153	10,5	0,14	19	2	0,68	205	12,7	0,14	19	2	0,68
p2134a	131	10,9	0,18	19	2	0,84	155	10,6	0,06	19	1	0,57	211	11,3	0,17	19	2	0,82
p2135a	187	20,8	0,39	19	1	3,72	206	24,8	0,45	19	1	4,26	235	42,8	0,40	19	1	3,85
p2136a	147	11,6	0,51	19	2	2,41	172	11,8	0,44	19	2	2,09	259	12,1	0,05	19	1	0,52
p2137a	111	18,4	0,08	19	1	0,78	132	21,5	0,09	19	1	0,85	169	37,6	0,08	19	1	0,80
p2138a	83	13,0	0,57	19	2	2,69	111	12,1	0,50	19	2	2,37	195	14,7	0,55	19	2	2,59
p2139a	103	18,3	0,07	19	1	0,65	124	21,4	0,07	19	1	0,71	163	37,4	0,07	19	1	0,67
p2140a	171	20,1	0,30	19	1	2,83	190	23,9	0,34	19	1	3,24	221	41,3	0,31	19	1	2,93
p2141a	170	20,1	0,29	19	1	2,79	189	23,8	0,34	19	1	3,18	220	41,2	0,30	19	1	2,88
p2142a	152	19,4	0,21	19	1	1,97	172	22,9	0,24	19	1	2,25	205	39,8	0,21	19	1	2,04
p2143a																		
p2144a	159	11,3	0,48	19	2	2,26	185	10,9	0,43	19	2	2,02	263	11,9	0,46	19	2	2,17
p2145a																		
p2201a	-2	12,0	0,24	19	2	1,13	18	12,0	0,25	19	2	1,18	51	12,4	0,24	19	2	1,13
p2202a	30	13,3	0,14	19	2	0,65	52	13,5	0,13	19	2	0,64	103	13,0	0,23	19	1	2,16
p2203b	-1	11,2	0,23	19	2	1,09	18	12,0	0,34	19	1	3,24	53	11,6	0,23	19	2	1,10
p2204a	23	11,3	0,27	19	2	1,27	55	12,0	0,34	19	1	3,24	110	11,7	0,26	19	2	1,25
p2205a	21	11,2	0,25	19	2	1,18	52	12,0	0,34	19	1	3,24	105	11,6	0,25	19	2	1,17
p2206a	40	11,7	0,17	19	2	0,79	64	11,5	0,15	19	2	0,73	121	12,0	0,16	19	2	0,77
p2207a	23	11,7	0,16	19	2	0,76	46	11,5	0,16	19	2	0,75	96	12,0	0,16	19	2	0,76
p2208a	10	13,6	0,19	19	2	0,91	33	13,9	0,20	19	2	0,93	80	13,3	0,28	19	1	2,70
p2209a	-1	12,1	0,25	19	2	1,17	18	12,0	0,26	19	2	1,22	48	12,4	0,25	19	2	1,17
p2210c	-16	12,3	0,29	19	2	1,39	5	12,3	0,31	19	2	1,45	43	12,7	0,29	19	2	1,40
p2211a	48	11,6	0,16	19	2	0,74	65	11,6	0,16	19	2	0,77	89	12,0	0,16	19	2	0,74
p2212b	21	13,5	0,16	19	2	0,78	41	13,8	0,17	19	2	0,80	71	13,0	0,22	19	1	2,06
p2213b	21	13,5	0,16	19	2	0,76	44	13,7	0,16	19	2	0,77	94	13,2	0,25	19	1	2,40
p2214a	21	11,6	0,33	19	2	1,59	55	12,1	0,37	19	1	3,50	112	12,0	0,33	19	2	1,56
p2215a	21	11,6	0,15	19	2	0,69	43	11,5	0,15	19	2	0,71	87	11,9	0,15	19	2	0,69
p2216a	-6	12,2	0,27	19	2	1,30	18	12,1	0,28	19	2	1,33	67	12,6	0,27	19	2	1,31
p2217a	13	11,8	0,18	19	2	0,85	35	11,7	0,18	19	2	0,86	80	12,1	0,18	19	2	0,85
p2218a	-9	10,5	0,31	19	2	1,48	15	10,9	0,33	19	2	1,54	73	12,2	0,31	19	2	1,49
p2219a	8	9,4	0,18	19	2	0,87	29	9,4	0,19	19	2	0,92	73	9,8	0,19	19	2	0,88
p2220a	30	9,2	0,12	19	2	0,58	49	9,2	0,13	19	2	0,60	85	9,6	0,12	19	2	0,58
p2221a	22	11,3	0,26	19	2	1,24	54	12,0	0,34	19	1	3,24	108	11,7	0,26	19	2	1,22
p2222a	30	10,1	0,23	19	2	1,11	54	10,4	0,22	19	2	1,06	120	11,8	0,23	19	2	1,08
p2223b	49	9,8	0,28	19	2	1,31	75	9,7	0,25	19	2	1,20	149	10,2	0,27	19	2	1,27
p2224a	8	11,8	0,20	19	2	0,93	30	11,8	0,20	19	2	0,96	76	12,2	0,20	19	2	0,94
p2225a	106	11,7	0,17	19	2	0,79	128	11,5	0,14	19	2	0,68	191	12,0	0,16	19	2	0,75

