
Validatie van grondwaterstandskaarten met behulp van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden

Martin Knotters, Tom Hoogland en Dick Brus¹

Verskillende kaarten geven de diepte tot het freatische grondwater aan. Voorbeelden zijn de kaart van de grondwaterdynamiek, en kaarten die zijn gemaakt met model-instrumentaria zoals het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium en de hydrologische component van Stone. Om hun bruikbaarheid te kunnen beoordelen moeten we weten hoe nauwkeurig deze kaarten zijn. In dit artikel beschrijven we hoe we een beeld kregen van de nauwkeurigheid door de kaarten te vergelijken met informatie over de freatische grondwaterstand uit de Landelijke Steekproef Kaarteenheden. Deze steekproef werd destijds uitgevoerd op de bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000.

Inleiding

Met het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI; Snepvangers e.a., 2008; Hoogewoud e.a., 2013a, b) kunnen onder meer de gemiddeld hoogste, laagste en voorjaarsgrondwaterstand (respectievelijk de GHG, GLG, GVG, samen GxG) ruimtelijk worden voorspeld voor elke 250x250m-pixel binnen Nederland, exclusief de Waddeneilanden. Ook met de hydrologische component van het modelinstrumentarium voor nutriëntenuitspoeling Stone (Van Bakel e.a., 2008) kunnen de GxG's gebiedsdekkend worden voorspeld. De kaart van de grondwaterstandsdynamiek (Gd; Finke e.a., 2005; Van Kekem e.a., 2005) geeft naast voorspellingen van de GxG's ook standaardafwijkingen van de voorspelfouten.

Om de bruikbaarheid van deze drie kaarten te kunnen beoordelen is validatie nodig, waarbij de kwaliteit van de kaart objectief en onafhankelijk wordt vastgesteld. Met objectief bedoelen we dat het resultaat van de validatie niet afhangt van veronderstellingen waarvan de geldigheid moeilijk is na te gaan. Met onafhankelijk bedoelen we dat de gegevens die voor validatie worden gebruikt niet eerder zijn gebruikt bij de totstandkoming van de kaarten. Gegevens die aan deze eis voldoen zijn de waarnemingen uit de Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK).

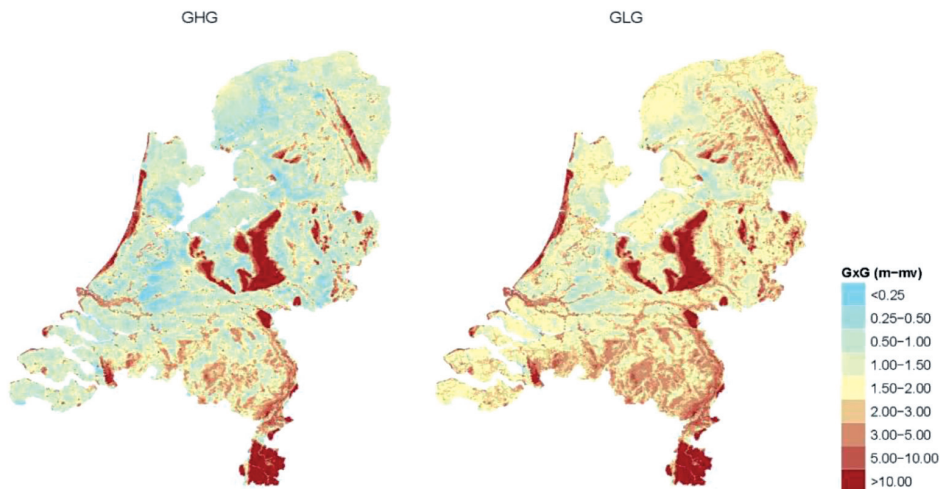
¹ Alterra, Wageningen UR (martin.knotters@wur.nl, tom.hoogland@wur.nl, dick.brus@wur.nl)

Het doel van deze validatiestudie is ten eerste om de kwaliteit van GxG-voorspellingen van NHI 3.0 en Hydrologie Stone V2.3 vast te stellen op basis van validatie met onafhankelijke waarnemingen uit de Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK). Ten tweede heeft deze studie als doel om aan te geven waar de GxG-voorspellingen meer of minder nauwkeurig zijn. Daarom vergelijken we de GxG-voorspellingen van NHI 3.0 en Hydrologie Stone V2.3 ook met de GxG-voorspellingen uit de Gd-karteringen. Hiermee krijgen we inzicht in de nauwkeurigheid op het niveau van specifieke cellen. We noemen dit tweede onderdeel van de studie bewust 'vergelijking' en niet 'validatie', omdat we hierbij een model, namelijk de Gd-kaart, als 'benchmark' gebruiken. Om te beoordelen of de Gd-kaart als benchmark kan worden gebruikt valideren we ook de Gd-kaart aan de hand van de LSK, waarbij we zowel de informatie over de GxG als over de voorspelnauwkeurigheid beoordelen. Deze validatie is mogelijk omdat de LSK-data niet zijn gebruikt bij de totstandkoming van de Gd-kaart.

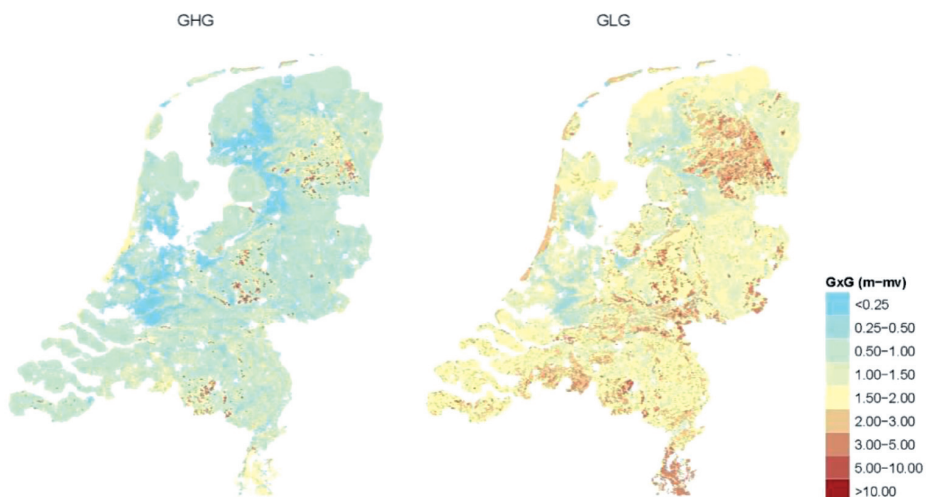
Wij presenteren eerst de kaarten die zijn gevalideerd, en beschrijven de gegevens uit de LSK die als referentiedata bij de validatie zijn gebruikt. Vervolgens beschrijven we de validatieprocedure en de wijze waarop we de GxG-voorspellingen volgens NHI 3.0 en Hydrologie Stone V2.3 vergeleken met de Gd-kaart. We geven een overzicht van de resultaten en besluiten met een aantal conclusies en aanbevelingen. Voor details verwijzen we naar Alterra-rapport 2440 (Knotters e.a., 2013).

Kaarten van de GxG

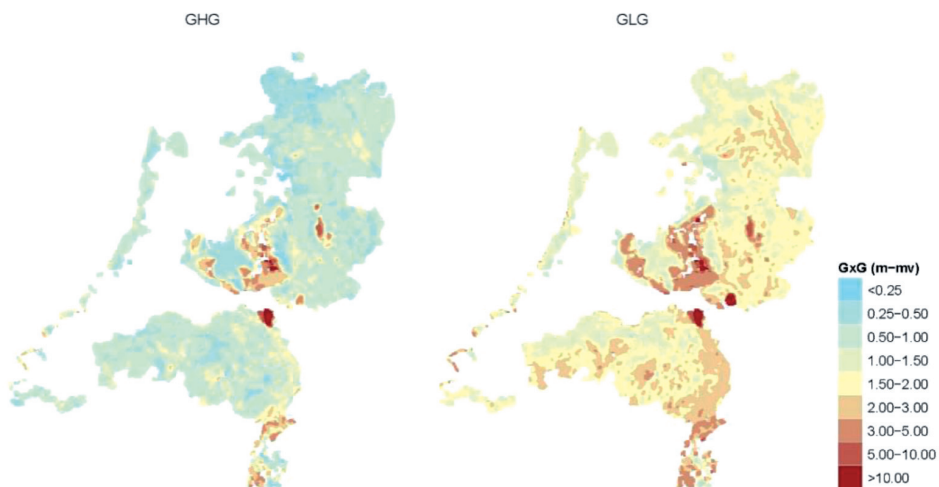
Met NHI 3.0 en Hydrologie Stone V2.3 zijn vlakdekkende GxG's bepaald uit berekeningen van het grondwaterstandsverloop voor de periode 1997-2005 (zie afbeelding 1 en 2). Deze achtjarige periode valt samen met de periode waarin de inventarisaties voor de Gd-kaart plaatsvonden. De NHI- en Hydrologie-Stone-voorspellingen van de GxG's zijn gemaakt voor een grid van 250x250 m². De Gd-kaart heeft een resolutie van 25x25 m² en beperkt zich hoofdzakelijk tot het pleistocene deel van Nederland en zandgronden in de kustgebieden (afbeelding 3).



Afbeelding 1: GxG-voorspellingen met NHI 3.0 voor de periode 1997-2005.



Afbeelding 2: GxG-voorspellingen met Hydrologie Stone V2.3 voor de periode 1997-2005.



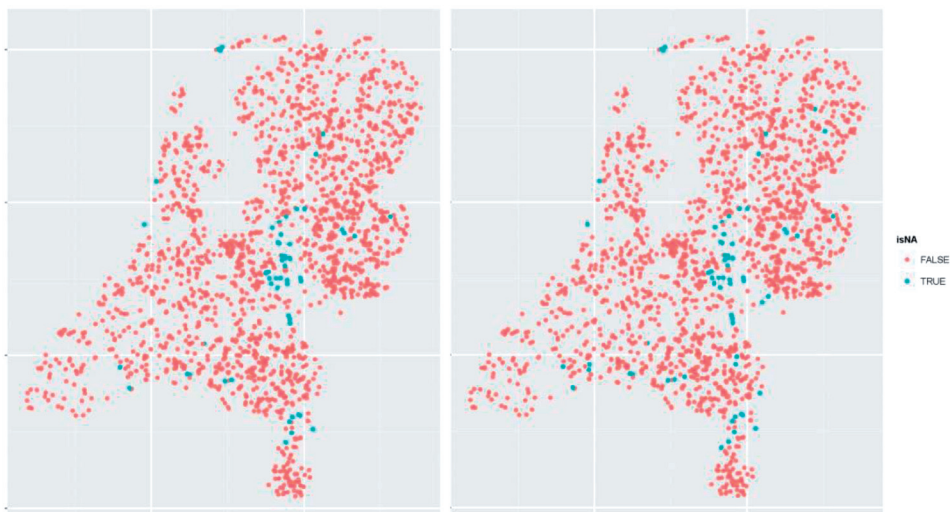
Afbeelding 3: GxG-voorspellingen volgens de Gd-kaart.

De Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK)

De Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK) startte in 1988, onder meer om de nauwkeurigheid van de bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000 te bepalen en om de inhoud van kaarteenheden kwantitatief te beschrijven (Finke e.a., 2001; Visschers e.a., 2007). De LSK bevat schattingen van de GHG en GLG voor 1193 locaties, die volgens een gestratificeerde enkelvoudig aselechte steekproef zijn geselecteerd. Deelgebieden (strata) zijn onderscheiden op basis van bodemtype en grondwatertrappen. Op deze wijze is zowel een goede spreiding over verschillende bodemkundige en hydrologische situaties als een goede ruimtelijke spreiding verkregen (zie afbeelding 4). Waarden van de GHG ontbreken voor 55 locaties, en van de GLG voor 66 locaties (zie de blauwe

punten in afbeelding 4). Zeer waarschijnlijk hebben op deze locaties geen gerichte opnames van de grondwaterstand plaatsgevonden, omdat deze te diep was. Dit concluderen we op basis van de ligging van de ontbrekende waarden in onder andere stuwwallen en duinen.

De GxG's op de steekproeflocaties zijn geschat op basis van gerichte opnames en stambuisregressie (Te Riele en Brus, 1991), gedurende de periode 1988-2001. Ritzema e.a. (2012, blz. 71-72) concluderen op basis van verschillende onderzoeken dat de fouten die hierbij kunnen optreden een standaardafwijking hebben van 10 tot 25 cm. GHG- en GLG-schattingen zijn daarbij ongeveer even nauwkeurig. Verder merken zij op dat als gevolg van 'regression to the mean' ondiepe GxG's te diep worden geschat en diepe GxG's te ondiep. De ruimtelijke variatie in GxG's wordt hierdoor mogelijk onderschat.



Afbeelding 4: Ligging van de locaties van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden en ligging van de ontbrekende waarden (blauw) voor de GHG (links) en GLG (rechts).

Aanpak van validatie met LSK

De aanpak van de validatie van de GxG-kaarten van NHI 3.0, Hydrologie Stone V2.3 en de Gd-kaart is als volgt:

1. We definieerden gebieden, of anders gezegd interessedomijnen, waarop de validatie zich richt, onder andere:
 - a. Het gebied waarbinnen tijdens de uitvoering van de LSK grondwaterstanden zijn gemeten. Dit is vrijwel geheel Nederland, met uitzondering van delen van stuwwallen en duinen waar waarnemingen ontbreken omdat het grondwater zich te diep bevond. Op deze manier treedt geen vertekening op die zich voordoet als ontbrekende waarnemingen worden genegeerd of vervangen door de maximale boordiepte. Vervangen van ontbrekende waarden door modelschattingen is onwenselijk omdat dit afbreuk doet aan de objectiviteit van de validatie;
 - b. Het gebied waarvoor een Gd-kaart is gemaakt. Dit is voornamelijk het pleistocene deel van Nederland. Voor dit gebied kunnen lokale GxG-voorspellingen van NHI

3.0 en Hydrologie Stone V2.3 worden vergeleken met voorspellingen van de Gd-kaart.

2. We berekenden de verschillen tussen de GxG's uit het LSK-bestand en de GxG's die zijn voorspeld met het NHI 3.0, Hydrologie Stone V2.3 en de Gd-methode.
3. Met behulp van de formules in Finke e.a. (2001) berekenden we vervolgens validatiematen voor de interessegebieden die zijn gedefinieerd in stap 1. Validatiematen zijn onder meer het gemiddelde verschil (ME), de root mean squared error (RMSE), het gemiddelde van de absolute verschillen (MAE), de mediaan van de verschillen (P50), percentielwaarden en grafieken van de cumulatieve frequentieverdeling van de verschillen.

Omdat de LSK puntinformatie bevat geven de validatieresultaten alleen informatie over de voorspelnaauwkeurigheid op puntschaal. Validatie op de aggregatieniveaus van NHI 3.0 (250x250 m²), Hydrologie Stone V2.3 (250x250 m²) en de Gd-kaart (25x25 m²) is niet mogelijk omdat hiervoor herhaalde waarnemingen binnen de gridcellen nodig zijn waarmee de gridcelgemiddelden en hun standaardfout geschat kunnen worden (Stehman en Czaplewski, 1998; Brus e.a., 2011).

Vergelijking GxG-kaarten NHI 3.0 en Hydrologie Stone V2.3 met Gd-kaart

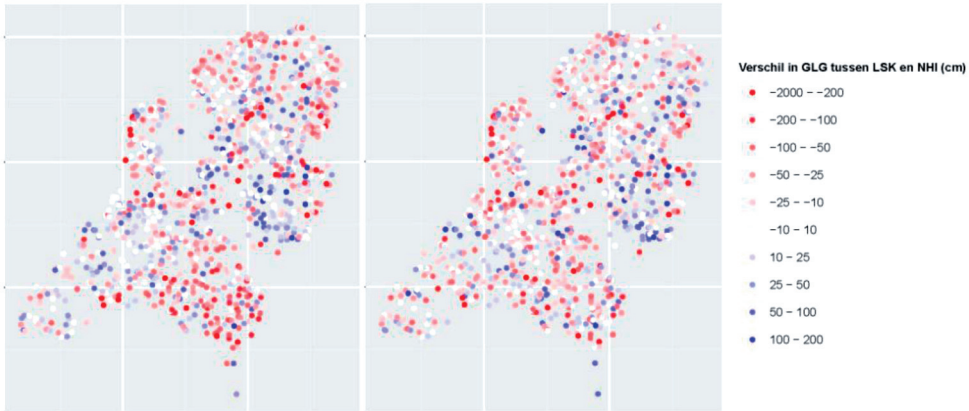
Een van onze doelen was inzicht te krijgen in de nauwkeurigheid van GxG-voorspellingen voor specifieke gridcellen. Dit kan niet met de LSK-data, maar wel door de GxG-voorspellingen van NHI 3.0 en Hydrologie Stone V2.3 te vergelijken met die van de Gd-kaart. Deze vergelijking, die we nadrukkelijk geen validatie noemen, voerden we als volgt uit:

1. De Gd-kaart geeft naast voorspellingen van de GxG ook theoretische varianties van de voorspelfouten die zijn berekend met behulp van een geostatistisch model van ruimtelijke variatie. De stratumgemiddelden van deze zogeheten krigingvarianties vergeleken we met de varianties van de verschillen tussen GxG's volgens LSK en Gd-kaart die uit de validatie volgden. Vervolgens stelden we de theoretisch berekende varianties bij zodat hun stratumgemiddelden gelijk zijn aan de varianties van de verschillen die uit de validatie volgden.
2. Met de bijgestelde krigingvarianties berekenden we 95%-voorspellingsintervallen, onder de veronderstelling dat de voorspelfouten normaal verdeeld zijn.
3. NHI-voorspellingen en Hydrologie-Stone-voorspellingen vergeleken we met de Gd-kaart, en we gaven aan waar verschillen statistisch significant zijn, dat wil zeggen waar de waarden van NHI 3.0 en Hydrologie Stone V2.3 buiten het interval liggen dat in stap 2 is berekend. In dit geval kozen we dus voor een significantieniveau van 5%.

Grote verschillen in modelvoorspellingen kunnen worden geïnterpreteerd als grote onzekerheid over de werkelijke GxG: "de één zegt dit, de ander dat". Kleine verschillen tussen kaarten willen overigens niet zeggen dat de onzekerheid klein is. Je vergelijkt immers twee modellen met elkaar, en die kunnen eensgezind naast de werkelijkheid zitten. Wel zou je op basis van validatieresultaten aan uitkomsten van het ene model meer waarde kunnen hechten dan aan uitkomsten van het andere model.

Enkele validatieresultaten

Afbeelding 5 geeft kaartjes van de verschillen tussen GxG-voorspellingen met NHI 3.0 en de LSK-waarden. Rood geeft aan dat de NHI-voorspellingen dieper zijn dan de LSK-waarden, blauw geeft aan dat de NHI-voorspellingen ondieper zijn dan de LSK-waarden.



Afbeelding 5: Verskil tussen LSK-schattingen en NHI-voorspellingen van de GHG (links) en de GLG (rechts).

Kolom 2 en 3 in tabel 1 geeft de berekende validatiematen. De negatieve ME's geven aan dat de NHI-voorspellingen systematisch dieper zijn dan de LSK-waarden. Deze ME's hebben kleine standaardfouten (s.e.). De ME's verschillen significant van 0 bij een significantieniveau van 0.05: $|ME| - 2 * s.e. > 0$. De percentielen in tabel 1 geven aan dat de verschillen tussen GxG-voorspellingen van NHI 3.0 en GxG-schattingen van de LSK scheef zijn verdeeld. In meer dan 50 % van het gebied voorspelt NHI 3.0 een GxG die dieper is dan de LSK-schatting.

	NHI 3.0		Hydrologie Stone V2.3	
	GHG	GLG	GHG	GLG
ME	-22(4)	-17(3)	13(2)	7(2)
RMSE	119	108	52	61
MAE	49	44	35	42
P2,5	-179	-185	-70	-111
P25	-35	-30	-15	-24
P50	-7	-7	9	7
P75	18	17	35	34
P97.5	77	90	143	146

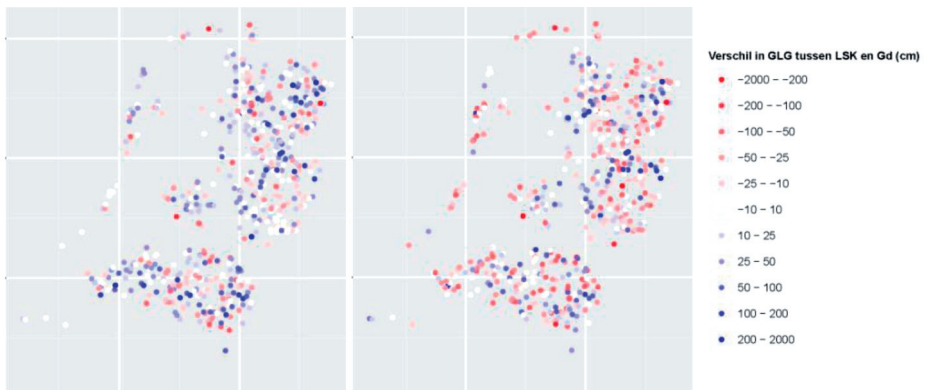
Tabel 1: Validatieresultaten in cm voor NHI-voorspellingen en Hydrologie-Stone-voorspellingen van GxG's, voor het gebied waarvoor LSK-schattingen van GxG's beschikbaar zijn. ME: gemiddeld verschil. De Px-waarden geven de x-de percentielen van de cumulatieve frequentieverdeling van de verschillen tussen NHI 3.0 en LSK aan. P50: mediaan. Standaardfouten tussen haakjes.

Afbeelding 6 geeft kaartjes van de verschillen tussen GxG-voorspellingen met Hydrologie Stone V2.3 en de LSK-waarden. Vergeleken met afbeelding 5 is het beeld veel 'blauwer': NHI 3.0 voorspelt vaak diepere GxG's dan de LSK, terwijl Hydrologie Stone V2.3 vaak ondiepere GxG's voorspelt. Dit blijkt ook uit de berekende validatiematen in kolom 4 en 5 van tabel 1. De positieve ME's geven aan dat de Hydrologie-Stone-voorspellingen systematisch minder diep zijn dan de LSK-waarden. Deze ME's hebben kleine standaardfouten. Ook hier verschillen de ME's significant van 0 bij een significantieniveau van 0.05.



Afbeelding 6: Verskil tussen LSK-schattingen en Hydrologie-Stone-voorspellingen van de GHG (links) en de GLG (rechts).

Afbeelding 7 toont de verschillen tussen GxG's volgens de Gd-kaart en GxG's volgens de LSK.



Afbeelding 7: Verskil tussen LSK-schattingen en Gd-voorspellingen van de GHG (links) en de GLG (rechts).

Tabel 2 geeft de berekende validatiematen voor de Gd-kaart. Ter vergelijking geven we ook de validatiematen voor GxG-voorspellingen met NHI 3.0 en Hydrologie Stone V2.3 voor het deel van Nederland waarvoor een Gd-kaart is. Uit tabel 2 blijkt dat de RMSE, de MAE en de interkwartiele range, P75-P25, voor de Gd-kaart het kleinst is bij zowel GHG als GLG. Ook de range P97,5-P2,5 is bij de Gd-kaart het kleinst. De Gd-voorspellingen van GxG's liggen dus overwegend dichter bij de LSK-schattingen dan de voorspellingen met NHI 3.0 en Hydrologie Stone V2.3.

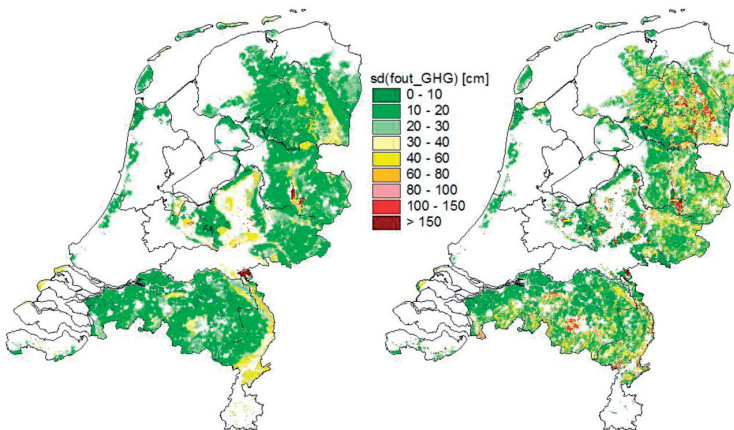
	Gd-kaart		NHI 3.0		Hydrologie Stone V2.3	
	GHG	GLG	GHG	GLG	GHG	GLG
ME	14(2)	-2(2)	-32(6)	-17(5)	19(3)	19(3)
RMSE	52	54	138	120	60	67
MAE	34	37	59	51	40	48
P2,5	-63	-85	-326	-257	-70	-102
P25	-14	-31	-46	-30	-14	-18
P50	7	-6	-11	-3	13	15
P75	32	20	32	25	41	52
P97,5	140	128	140	96	185	189

Tabel 2: Validatieresultaten in cm voor Gd-, NHI- en Hydrologie-Stone-voorspellingen van GxG's, voor het gebied waarvoor een Gd-kaart is gemaakt. Toelichting: zie tabel 1.

Opgemerkt moet worden dat de Gd-kaart een resolutie heeft van 25x25 m, terwijl de GxG-voorspellingen van NHI 3.0 en Hydrologie Stone V2.3 een resolutie hebben van 250x250 m. Om inzicht te krijgen in het effect van aggregatieniveau, aggregerden we de 25x25m-gridcellen van de Gd-kaart tot cellen van 250x250 m. Het effect op de validatieresultaten bleek gering te zijn (zie tabel 3.13 in Knotters e.a., 2013), wat duidt op geringe variatie in GxG-voorspellingen op korte afstanden.

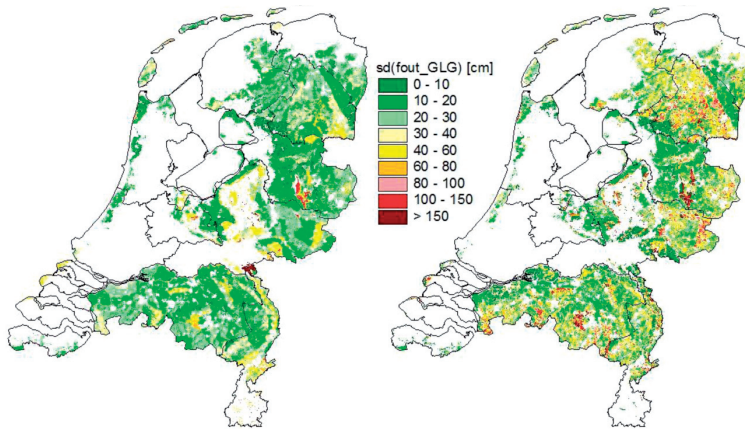
Resultaten van vergelijking met de Gd-kaart

Voorafgaand aan de vergelijking van NHI- en Hydrologie-Stonevoorspellingen met de Gd-kaart is de theoretische standaardafwijking van de voorspelfout op de Gd-kaart bijgesteld aan de hand van de validatieresultaten. Afbeelding 8 en 9 geven hiervan de resultaten voor respectievelijk de GHG-kaart en de GLG-kaart.



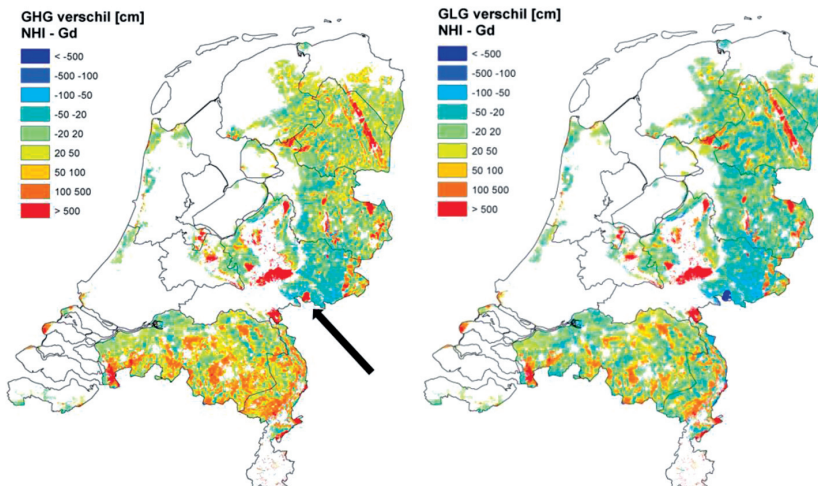
Afbeelding 8: Standaardafwijkingen van de voorspelfouten van GHG's volgens de Gd-kaart.

Links: theoretisch berekende standaardafwijkingen. Rechts: standaardafwijkingen na correctie op basis van verschillen tussen Gd-kaart en LSK-schattingen van GHG's.



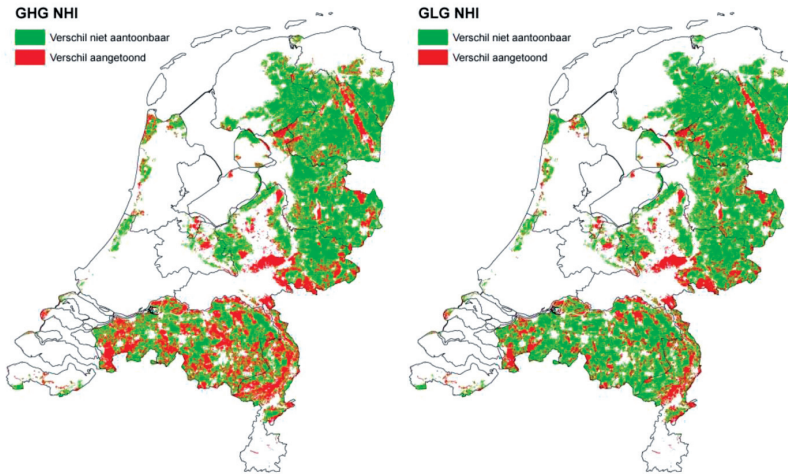
Afbeelding 9: Standaardafwijkingen van de voorspelfouten van GLG's volgens de Gd-kaart. Links: theoretisch berekende standaardafwijkingen. Rechts: standaardafwijkingen na correctie op basis van verschillen tussen Gd-kaart en LSK-schattingen van GLG's.

Afbeelding 10 geeft de verschillen in GxG-voorspellingen tussen de Gd-kaart en NHI 3.0. Uit deze kaartjes blijkt dat vooral in gebieden met diepe grondwaterspiegels, zoals stuwwallen, de Brabantse Wal et cetera, NHI 3.0 diepere GxG's voorspelt dan de Gd-kaart. Een uitzondering vormt het Montferland. Omdat we hier twee modellen met elkaar vergelijken, kan niet op voorhand worden gezegd of hier sprake is van een fout in de voorspellingen van NHI 3.0 dan wel de Gd-kaart. Ook komt duidelijk de grens van het Oost-Nederlands plateau in de Achterhoek naar voren. Ten westen van deze grens zijn de NHI-voorspellingen vaak ondieper dan de Gd-voorspellingen, terwijl ten oosten van deze grens de NHI-voorspellingen vaak dieper zijn.



Afbeelding 10: Verschillen tussen NHI- en Gd-voorspellingen van de GHG (links) en de GLG (rechts). Positief verschil: NHI 3.0 dieper dan Gd. Negatief verschil: NHI 3.0 ondieper dan Gd. De pijl geeft het Montferland aan.

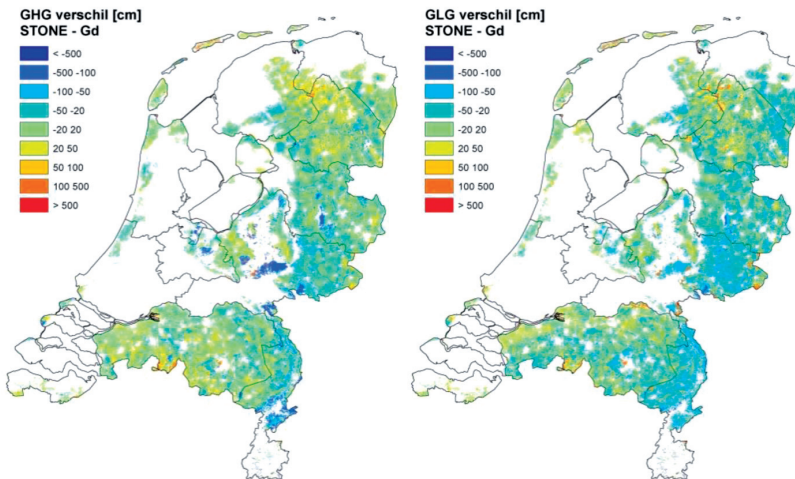
Afbeelding 11 geeft de gebieden aan waar de GxG-voorspellingen van NHI 3.0 en de Gd-kaart significant van elkaar verschillen. Onder meer bij stuwwallen, de Hondsrug, de Brabantse Wal en de Maasterrassen wijken beide kaarten aantoonbaar van elkaar af.



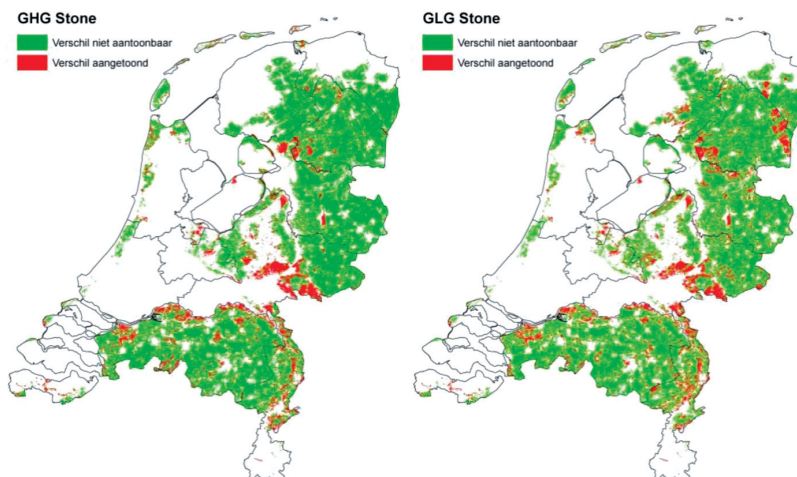
Afbeelding 11: Gebieden waar de NHI-voorspellingen significant van de Gd-voorspellingen verschillen, bij een 5%-significantieniveau. Links: GHG, rechts: GLG.

Afbeelding 12 geeft de verschillen in GxG-voorspellingen tussen de Gd-kaart en Hydrologie Stone V2.3. De kaarten laten zien dat onder stuwwallen en in Oost-Nederland Hydrologie Stone V2.3 ondiepere GxG's voorspelt dan de Gd-kaart.

Afbeelding 13 geeft aan waar de Hydrologie-Stone-voorspellingen buiten het 95%-voorspellingsinterval van de Gd-kaart liggen en verschillen als significant zijn aan te merken. Dit is onder meer het geval bij stuwwallen, en voor de GLG ook in de Drentse veenkoloniën.



Afbeelding 12: Verschillen tussen Hydrologie-Stone- en Gd-voorspellingen van de GHG (links) en de GLG (rechts). Positief verschil: Hydrologie Stone V2.3 dieper dan Gd. Negatief verschil: Hydrologie Stone V2.3 ondieper dan Gd.



Afbeelding 13: Gebieden waar de Hydrologie-Stone-voorspellingen significant van de Gd-voorspellingen verschillen, bij een 5%-significantieniveau. Links: GHG, rechts: GLG.

Conclusies en aanbevelingen

Deze studie leidde tot een aantal conclusies over de nauwkeurigheid van GxG-voorspellingen volgens NHI 3.0, Hydrologie Stone V2.3 en de Gd-kaart:

- GxG-voorspellingen van NHI 3.0 zijn gemiddeld genomen relatief diep. Het systematische verschil tussen LSK-schattingen en NHI-voorspellingen is significant bij een significantieniveau van 5% voor zowel GHG als GLG. Voor de GHG is het gemiddelde verschil tussen LSK-schatting en NHI-voorspelling -22 cm, en voor de GLG is dit -17 cm. Voor zowel GHG als GLG is de mediaan van de verschillen -7 cm. Diepe voorspellingen komen vooral voor onder stuwwallen, de Hondsrug, de Brabantse Wal en de Maasterrassen;
- GxG-voorspellingen van Hydrologie Stone V2.3 zijn gemiddeld genomen relatief ondiep. Het systematische verschil tussen LSK-schattingen en Hydrologie-Stone-voorspellingen is significant bij een significantieniveau van 5% voor zowel GHG als GLG. Voor de GHG is het gemiddelde verschil tussen LSK-schatting en Hydrologie-Stone-voorspelling 13 cm en is de mediaan van de verschillen 9 cm. Voor de GLG zijn zowel het gemiddelde verschil als de mediaan van de verschillen 7 cm. Ondiepe voorspellingen komen vooral voor onder stuwwallen, de Hondsrug en de Maasterrassen;
- GHG-voorspellingen van de Gd-kaart zijn gemiddeld genomen relatief ondiep. Het systematische verschil tussen LSK-schattingen en Gd-voorspellingen is significant bij een significantieniveau van 5%. Het gemiddelde van de verschillen is 14 cm, de mediaan is 7 cm. Voor de GLG kan geen systematisch verschil worden aangetoond.

Voor conclusies over de nauwkeurigheid waarmee het verschil tussen GHG en GLG, oftewel fluctuatie, wordt voorspeld en over de mate waarin wordt voldaan aan criteria gesteld in Hoogewoud e.a. (2013b) verwijzen wij naar Knotters e.a. (2013).

Wij doen de volgende aanbevelingen voor validatie van gebiedsdekkende informatie over de freatische grondwaterstand:

- Voorafgaand aan validatie moeten onderbouwde validatiecriteria worden gedefinieerd die informatie geven over de bruikbaarheid van informatie over de freatische grondwaterstand bij de doelen waarvoor deze informatie wordt ingezet;
- GxG's worden geschat, uit tijdreeksen, met een tijdreeksmodel, of bij gerichte opnames met behulp van stambuisregressie. GxG's bevatten daarom een schattingsfout. We bevelen aan om niet te valideren op geschatte GxG's, maar op gemeten standen, of op parameters die direct uit gemeten standen zijn berekend, zoals xG3's (gemiddelden van de drie hoogste of laagste standen in een hydrologisch jaar, bij een halfmaandelijke meetfrequentie);
- Om objectiviteit na te streven bevelen we aan deze standen te meten op locaties die volgens een kanssteekproef zijn geselecteerd. Op deze manier kunnen zuivere schattingen van grootheden zoals gebiedsgemiddelde fouten worden gemaakt en kan de nauwkeurigheid van deze grootheden valide worden gekwantificeerd;
- Om onafhankelijkheid na te streven bevelen we aan de waarnemingen uit dit meetnet uitsluitend voor validatie van modellen van de grondwaterstand te gebruiken en dus niet voor kalibratie;
- We bevelen aan om de validatieset te gebruiken voor het beoordelen van de bruikbaarheid van alle modellen voor het genereren van informatie over de freatische grondwaterstand, inclusief regionale modellen en nieuwe modelversies;
- Om de validatieset te kunnen inzetten voor beoordeling van regionale modellen bevelen we aan om voor de betreffende gebieden het validatiemetnet te verdichten.

Dankwoord

Wij zijn Stowa erkentelijk voor de oorspronkelijke opdracht tot deze validatiestudie en de projectgroep NHI voor de opdracht tot uitbreiding hiervan. In het bijzonder waarderen we de inbreng van Joost Heijkers (Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden), Durk Klopstra (Stowa), Timo Kroon (Waterdienst), Jacco Hoogewoud (Deltares), Frank van der Bolt (Alterra, Wageningen UR), Ab Veldhuizen (Alterra, Wageningen UR) en Henk Vroon (Alterra, Wageningen UR).

Literatuur

Bakel, P.J.T. van, Massop, H.Th.L., Kroes, J.G., Hoogewoud, J., Pastoors, M.J.H. en Kroon, T. (2008) Actualisatie hydrologie voor STONE 2.3; Aanpassing randvoorwaarden en parameters, koppeling tussen NAGROM en SWAP, en plausibiliteitstoets; Rapport 57, Wettelijke Onderzoekstaken (WOt) Natuur & Milieu, Wageningen

Brus, D.J., Kempen, B. en Heuvelink, G.B.M. (2011) Sampling for validation of digital soil maps; in: European Journal of Soil Science, vol 62, pag 394-407

Finke, P.A., Gruijter, J.J. de en Visschers, R. (2001) Status 2001 Landelijke Steekproef Kaartenheden en toepassingen; Rapport 389, Alterra, Wageningen UR

Finke, P.A., Brus, D.J., Bierkens, M.F.P., Hoogland, T., Knotters, M. en Vries, F. de (2005) Kartering van de grondwaterdynamiek met behulp van geo-informatie van hoge resolutie; in: Stromingen, vol 11, pag 27-41

Hoogewoud, J., Hunink, J., Prinsen, F., Veldhuizen, A. en Verkaik, J. (2013a) Veranderingsrapportage NHI 3.0. Beschrijving van de veranderingen in versie 3.0; Rapport nr. 1206107-000, Deltares

Hoogewoud, J.C., Prinsen, G.F., Hunink, J.C., Veldhuizen, A.A., Bolt, F.J.E. van der en de Lange, W.J. (2013b) Toetsingsrapportage NHI 3.0; Rapport nr. 1206107-000, Deltares

Kekem, A.J. van, Hoogland, T. en Horst, J.B.F. van der (2005) Uitspoelingsgevoelige gronden op de kaart; werkwijze en resultaten; Rapport 1080, Alterra, Wageningen UR

Knotters, M., Hoogland, T. en Brus, D.J. (2013) Validatie van grondwaterstandskaarten met behulp van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden; Rapport 2440, Alterra, Wageningen UR

<http://content.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/Alterrapporten/AlterraRapport2440.pdf>

Riele, W.J.M. te en Brus, D.J. (1991) Methoden van gerichte grondwaterstandmetingen voor het schatten van de GHG; Rapport 158, DLO-Staring Centrum, Wageningen

Ritzema, H.P., Heuvelink, G.B.M., Heinen, M., Bogaart, P.W., Bolt, F.J.E. van der, Hack-ten Broeke, M.J.D., Hoogland, T., Knotters, M., Massop, H.T.L. en Vroon, H.R.J. (2012) Meten en interpreteren van grondwaterstanden. Analyse van methodieken en nauwkeurigheid; Rapport 2345, Alterra, Wageningen UR

Snepvangers, J., Veldhuizen, A., Prinsen, G. en Delsman, J. (2008) Nationaal Hydrologisch Instrumentarium – NHI. Modelrapportage; NHI, Hoofdrapport

Stehman, S.V. en Czaplewski, R.L. (1998) Design and analysis for thematic map accuracy assessment: fundamental principles; in: Remote sensing of the environment, vol 64, pag 331-344

Visschers, R., Finke, P.A. en Gruijter, J.J. de (2007) A soil sampling program for the Netherlands; in: Geoderma, vol 139, pag 60-72

