

## Nauwkeurigheid van handmatig gemeten grondwaterstanden

*Martin Knotters (Alterra-WUR), Thomas de Meij (provincie Overijssel), Matheijs Pleijter (Alterra-WUR)*

In Nederland worden veel grondwaterstanden gemeten. Vanouds gebeurt dit handmatig door een dompelklokje aan een meetlint in een peilbuis te laten zakken, of, geavanceerder, met een elektronisch peilapparaat met geluidssignaal. Tegenwoordig worden ook automatische drukopnemers gebruikt, die regelmatig worden gecontroleerd door de automatische metingen te vergelijken met handmatige. Daarbij is inzicht in de nauwkeurigheid van de handmatige meting belangrijk, maar hier is weinig over bekend. Daarom voerden we een experiment uit. Meetfouten blijken meestal beperkt te zijn, hooguit enkele centimeters. Soms traden echter fouten van rond een meter op, veroorzaakt door slecht afleesbare meetlinten.

Al sinds de helft van de vorige eeuw worden grondwaterstanden gemeten in landelijke en regionale meetnetten, wat een groot bestand aan metingen heeft opgeleverd [1]. In 2012 werden in maar liefst 21825 filters verspreid over Nederland grondwaterstanden en stijghoogten gemeten [2]. Dat grote aantal is niet verwonderlijk. De grondwaterstand, ofwel het freatisch niveau, bevindt zich in Nederland doorgaans op geringe diepte. Daardoor is grondwater van belang voor de vochtvoorziening van gewassen en vegetaties, voor de uitspoeling van nutriënten, voor de aanvoer van zout en voor de bewerkbaarheid van de bodem. Waterbeheerders willen dus graag weten hoe diep het grondwater zit en hoe het stroomt. Informatie over de grondwaterstand wordt gebruikt in studies naar bijvoorbeeld gewasopbrengsten, vegetatieontwikkeling, en uitspoeling van nutriënten naar grond- en oppervlaktewater.

### Handmatige en automatische metingen

Grondwaterstandsmetingen worden vaak uitgevoerd door een klokje, bevestigd aan een meetlint, in een buis met een filter te laten zakken. Zodra het klokje het wateroppervlak in de buis raakt klinkt er een 'plop' en kun je op het meetlint de diepte van het wateroppervlak ten opzichte van de bovenkant van de buis aflezen. In plaats van een klokje kan ook een elektronisch peilapparaat worden gebruikt dat een geluidssignaal afgeeft zodra de sensor het wateroppervlak raakt.

De laatste jaren zijn er in veel buizen automatische drukopnemers geïnstalleerd, waarmee met hoge frequentie standen kunnen worden gemeten. Om deze metingen te kalibreren en te controleren blijven handmatige waarnemingen met een meetlint en klokje of met een elektronisch peilapparaat met geluidssignaal noodzakelijk. Voor handmatige metingen met een meetlint en klokje adviseert NEN-ISO 21413 [3] een nauwkeurigheid aan te houden van  $\pm 1,0$  cm. Maar wat wordt daarmee bedoeld? Het is niet duidelijk of die centimeter een standaardafwijking is, een maximum, een (halve?) breedte van een 95%-betrouwbaarheidsinterval, etc. Ritzema e.a. [4] constateerden dat kwantitatieve gegevens over de

betrouwbaarheid van handmatige metingen niet voorhanden zijn. Het is dus de hoogste tijd om de meetfout die wordt gemaakt bij het handmatig meten en registreren van een grondwaterstand of stijghoogte te kwantificeren.

### **Waarom dit experiment?**

Omdat we willen weten hoe nauwkeurig handmatige metingen zijn, voerden we een experiment uit dat als doel had de fout die wordt gemaakt bij het handmatig meten van grondwaterstanden in buizen te kwantificeren. Dit experiment beperkt zich tot kwantificering van de nauwkeurigheid waarmee de diepte tot een wateroppervlak in een buis handmatig wordt waargenomen en geregistreerd.

### **Opzet van het experiment**

We onderzochten de nauwkeurigheid van metingen met twee typen peilklokjes: het bekende dompelklokje dat bestaat uit een messing buisje van 17 mm doorsnede, en een elektronisch peilapparaat met geluidssignaal. Afbeelding 1 laat deze twee instrumenten zien.



***Afbeelding 1. Meetlint met akoestisch dompelklokje (links) en elektronisch peilapparaat met geluidssignaal (rechts)***

Het experiment was opgezet als een zogeheten factoriële proef, waarbij je de effecten van verschillende factoren die van invloed zijn op de meetfout kunt onderscheiden. We onderzochten of het type meetinstrument van invloed is op de meetfout, of een buisverbinding boven het waterniveau de meetnauwkeurigheid beïnvloedt, of de afwerking van de buis boven of onder maaiveld van invloed is, en of er bij het aflezen 'omdraaifout' worden gemaakt (bijv. 57 cm in plaats van 75 cm).

In een veldje bij het Boetelerveld (Overijssel) plaatsten we zestien waterdichte buizen, met daarin waterniveaus die wij nauwkeurig instelden door volumina water af te wegen. Vervolgens zijn de waterstanden gemeten door zestien verschillende waarnemers, wat 256 waarnemingen opleverde. Negen waarnemers waren vrijwilligers van Landschap Overijssel, en zeven professionele meetnetbeheerders. Afbeelding 2 geeft een impressie van de uitvoering van het experiment.



**Afbeelding 2. Veldje met 16 buizen en uitvoering van de proef**

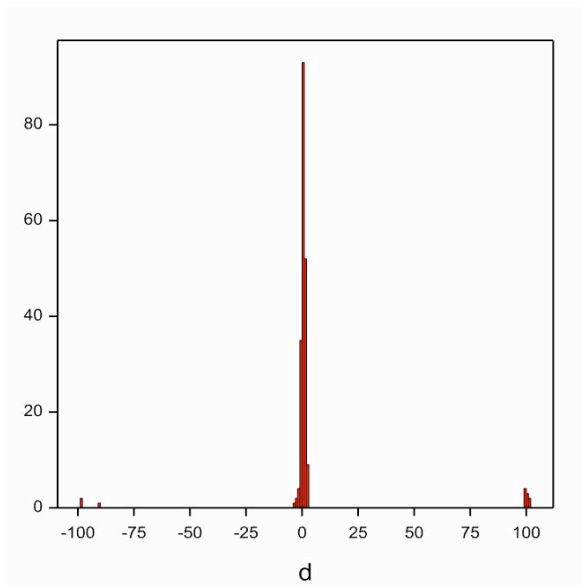
Om de waterstand na uitvoering van de proef nauwkeurig te kunnen meten is aan alle peilbuizen na afloop een kleine hoeveelheid zwarte kleurstof opgelost in wasbenzine toegevoegd, met als doel een scherp randje op de buiswand te vormen ter hoogte van het wateroppervlak. Gemiddeld bleek het niveau 3 mm te zijn gedaald na afloop van het experiment, door verdamping en doordat vocht aan de klokjes blijft hangen en enige verdamping.

Daarom namen we een gemiddelde stand gedurende het experiment aan van 1,5 mm onder de beginstand. Bij drie buizen bleek dat door onvoorziene technische problemen zoals lekkage het waterniveau sterk was verlopen gedurende het experiment. De metingen in deze drie buizen zijn bij de verwerking buiten beschouwing gelaten.

De resultaten zijn verwerkt met behulp van het statistische programma Genstat, versie 15 [5]. Omdat de metingen in drie peilbuizen buiten beschouwing moesten worden gelaten, zijn de gegevens niet verwerkt met variantieanalyse voor een factoriële proef, maar met lineaire regressie.

### Belangrijkste resultaten

Afbeelding 3 geeft een histogram van de waarnemingsfouten. De afbeelding laat zien dat de meeste fouten klein zijn, hooguit enkele centimeters. Opmerkelijk is echter dat twaalf keer een fout is gemaakt van circa 100 cm. In alle gevallen werden deze fouten gemaakt bij elektronische peilapparaten. Het blijkt dat bij de meetlinten hiervan de diepte in meters niet wordt herhaald bij de centimeterverdeling, zoals bij de dompelklokjes wel het geval is, zie figuur 4.



H2O-Online / 15 januari 2014

Opmerkelijk is echter dat twaalf keer een fout is gemaakt van circa 100 cm. In alle gevallen werden deze fouten gemaakt bij elektronische peilapparaten. Het blijkt dat bij de meetlinten hiervan de diepte in meters niet wordt herhaald bij de centimeterverdeling, zoals bij de dompelklokjes wel het geval is, zie figuur 4.

**Afbeelding 3. Histogram van de waarnemingsfouten  $d$  in cm (x-as).**

$n=208$ , de absolute frequenties zijn aangegeven (y-as) en de intervallen zijn 1 cm breed.

Deze afleesfouten werden niet alleen door waarnemers gebruikt die geen ervaring hadden met deze meetlinten; ook twee waarnemers die deze meetlinten in de praktijk gebruiken maakten beiden een keer deze afleesfout.

We hebben ook de variatie in meetnauwkeurigheid tussen de verschillende waarnemers onderzocht. Twee waarnemers maakten aantoonbaar grotere waarnemingsfouten dan de andere veertien. Dit moeten we toeschrijven aan afleesfouten van rond de 100 cm, die beiden vier keer maakten. Door deze afleesfouten zijn de waarnemingsfouten die werden gemaakt bij elektronische peilapparaten aantoonbaar groter dan die bij dompelklokjes. We konden geen effect op de meetnauwkeurigheid aantonen van de aanwezigheid van een buisverbinding boven het waterniveau, of van de afwerking van de buis boven of onder maaiveld. 'Omdraaifouten' werden tijdens het experiment niet gemaakt.

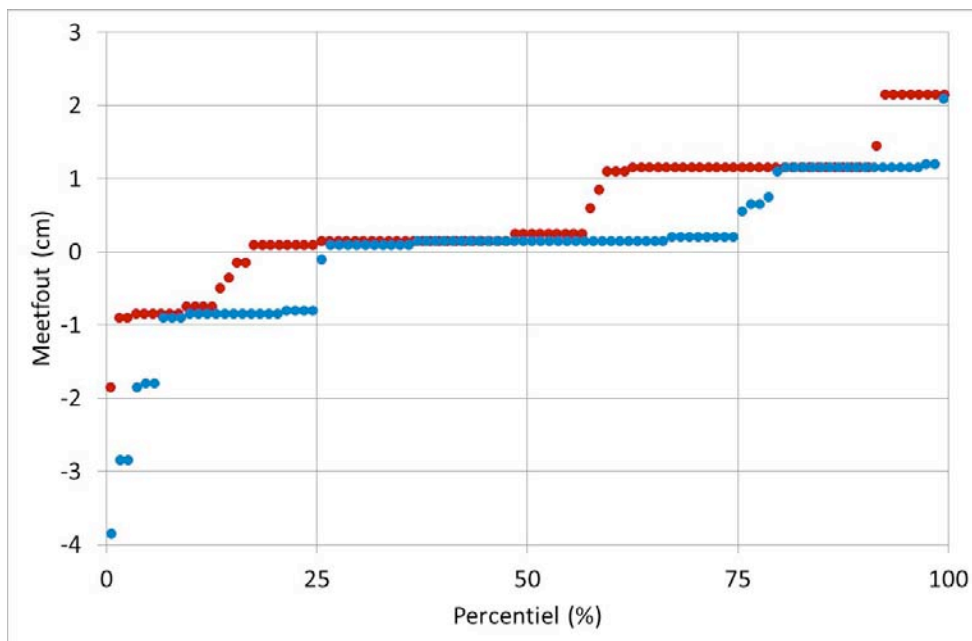
### **Wat is nu de meetnauwkeurigheid?**

Uit onze analyse blijkt dat de meetfouten bij dompelklokjes niet normaal of symmetrisch verdeeld zijn rond gemiddelde 0. Meetfouten van dompelklokjes kunnen daarom beter niet worden samengevat met een standaardafwijking. Beter is het om intervallen te geven waarbinnen bijvoorbeeld 95% van de meetfouten ligt. Als we de afleesfouten van circa 100 cm buiten beschouwing laten, dan ligt bij een dompelklokje 95% van de meetfouten tussen -2,85 cm en 1,2 cm. De mediaan van de meetfout is bij een dompelklokje 0,15 cm. Dat wil zeggen dat 50% van de meetfouten onder deze waarde ligt. Bij een elektronisch peilapparaat ligt 95% van de meetfouten tussen -0,90 cm en 2,15 cm, en is de mediaan van de meetfout 0,25 cm. Uit vergelijking met een normale verdeling in zogeheten QQ-plots bleek dat de verdeling van de fouten die met elektronische peilapparaten worden gemaakt eventueel kan worden benaderd met een normale verdeling, met gemiddelde 0,5 cm en standaardafwijking 0,84 cm.

De Q-plot in afbeelding 5 geeft weer hoe de fouten bij metingen met dompelklokjes en elektronische peilapparaten zijn verdeeld. De afleesfouten van circa 100 cm zijn hierbij weggelaten.



**Afbeelding 4. Het bovenste meetlint is bevestigd aan een dompelklokje, de onderste twee meetlinten aan elektronische peilapparaten met geluidssignaal.**



**Afbeelding 5.** Q-plot van de meetfouten met een elektronisch peilapparaat (rood) en een dompelklokje (blauw). De grafiek geeft aan hoeveel procent van de waargenomen meetfouten lager is dan een bepaalde waarde. Afleesfouten van circa 100 cm zijn buiten beschouwing gebleven.

### Conclusies en aanbevelingen

Samenvattend concluderen we dat 95% van de meetfouten die met een dompelklokje worden gemaakt ligt tussen -2,85 cm en 1,2 cm, en dat 95% van de meetfouten die met een elektronisch peilapparaat worden gemaakt ligt tussen -0,90 cm en 2,15 cm.

Voor veel toepassingen zal deze nauwkeurigheid voldoende zijn.

Onzekerheidsanalyses kunnen nu gebaseerd worden op een kwantitatief beter onderbouwde verdeling van meetfouten, in plaats van op de vuistregel van +/- 1 cm die tot nu toe werd gehanteerd.

Het experiment laat verder zien dat de grootste fouten worden gemaakt bij het aflezen van het meetlint. De meetlinten die aan de elektronische peilapparaten zijn bevestigd gaven regelmatig aanleiding tot waarnemingsfouten van circa 100 cm. De meetlinten waaraan de dompelklokjes waren bevestigd waren veel duidelijker, en hiermee werden dergelijke fouten niet gemaakt. De afleesfout van circa 100 cm werd relatief vaak gemaakt door twee waarnemers die niet ervaren bleken te zijn met de elektronische peilapparaten. Omdat deze fout ook enkele malen werd gemaakt door waarnemers die ervaring hebben met deze instrumenten concluderen we dat grondwaterstanden en stijghoogtes die hiermee zijn waargenomen afleesfouten van circa 100 cm kunnen bevatten. Hierbij merken we op dat in ons experiment de ingestelde niveaus niet dieper waren dan 200 cm. We sluiten niet uit dat bij diepere niveaus afleesfouten worden gemaakt van bijvoorbeeld 200 of 300 cm. Het lijkt nogal een open deur, maar dit experiment was blijkbaar nodig om deze foutenbron expliciet aan het licht te brengen. De oplossing is eenvoudig.

Op basis van de resultaten van het experiment bevelen wij aan om elektronische peilapparaten met geluidssignaal te voorzien van duidelijke meetlinten die bij de centimeterverdeling ook de diepte in meters aangeven.

Tot nu toe spraken we over grondwaterstanden. De resultaten van ons experiment kunnen ook worden toegepast op stijghoogten die in peilbuizen worden gemeten. (De stijghoogte is de som van de drukhoogte en de plaatshoogte van het grondwater op een bepaald punt. Stijghoogtemetingen worden bijvoorbeeld gebruikt in studies naar grondwaterstroming.)

### **Wat leverde het experiment nog meer op?**

Behalve kwantitatieve informatie over de meetfouten en een aanbeveling om voortaan duidelijker meetlinten te gebruiken, leverde het experiment ook een bijeenkomst met enthousiaste waarnemers op, in het veld, met goede discussies en interessante en leuke gesprekken tussen veldwaarnemers, meetnetbeheerders en onderzoekers. Er werd uitvoerig kennis en ervaring uitgewisseld, en de gesprekken gingen over zowel het verzamelen als het gebruiken van grondwaterstandsmetingen. Ontmoetingen als deze ervaren wij als heel waardevol, omdat ze stimuleren voortdurend aandacht te schenken aan de kwaliteit van informatie over grondwaterstanden en stijghoogtes. Herhaling is zeker geen slecht idee!

### **Literatuur**

1. Visser, W.C. (1958). De landbouwwaterhuishouding van Nederland. Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland-TNO, rapportnr. 1.
2. <http://www.dinoloket.nl/>
3. NEN-ISO 21413. 2005. Metingen aan grondwater – Handmatig meten van het grondwaterpeil in putten. Hydrometrie, Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.
4. Ritzema, H.P., G.B.M. Heuvelink, M. Heinen, P.W. Bogaart, F.J.E. van der Bolt, M.J.D. Hack-ten Broeke, T. Hoogland, M. Knotters, H.T.L. Massop en H.R.J. Vroon (2012). Meten en interpreteren van grondwaterstanden. Analyse van methodieken en nauwkeurigheid. Wageningen, Alterra, Rapport 2345.
5. VSN International (2012). GenStat Reference Manual (Release 15), Part 1 Summary. Hemel Hempstead, UK: VSN International.