



# Systematische fouten in metingen van grondwaterstanden met drukopnemers

Verslag van een data-analyse

M. Pleijter, L. van Hamersveld en M. Knotters



---

# Systematische fouten in metingen van grondwaterstanden met drukopnemers

Verslag van een data-analyse

M. Pleijter<sup>1</sup>, L. van Hamersveld<sup>2</sup> en M. Knotters<sup>3</sup>

1 Alterra Wageningen UR; vanaf 1 juni 2015 Aequator Groen en Ruimte

2 Eijkelkamp Agrisearch Equipment

3 Alterra Wageningen UR

Dit onderzoek is uitgevoerd door Alterra Wageningen UR in opdracht van en gefinancierd door het ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Kennisbasisthema 14 'Duurzame ontwikkeling van de groenblauwe ruimte' (projectnummer KB-14-001-056).

Alterra Wageningen UR  
Wageningen, september 2015

---

Alterra-rapport 2666

ISSN 1566-7197


---

Pleijter, M., L. van Hamersveld en M. Knotters, 2015. *Systematische fouten in metingen van grondwaterstanden met drukopnemers; Verslag van een data-analyse*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2666. 24 blz.; 9 fig.; 2 tab.; 9 ref.

Handmetingen zijn onmisbaar bij het gebruik van automatische grondwaterstandopnemers om meetfouten te kunnen opsporen. Wij onderzochten de verschillen tussen handmetingen van de grondwaterstand en metingen uitgevoerd met drukopnemers. Hierbij analyseerden we van 474 locaties meetreeksen van ca. twee jaar lang. We keken of de opgetreden verschillen systematisch zijn en of er trends te ontdekken zijn die duiden op *drift* van het nulpunt van de drukopnemers. Bij 144 locaties (30%) is een significante lineaire toename van de verschilwaarden aangetoond, die zowel positief als negatief kan zijn. Een algemeen verloop van de verschilwaarden kon niet worden aangetoond. Voor metingen van individuele drukopnemers bevelen we aan om, als de verschillen binnen twee jaar oplopen tot meer dan 2 cm, de metingen van de drukopnemer met behulp van een lineair regressiemodel aan te passen aan de handmetingen. We bevelen aan om ten minste vier handmetingen per jaar te verrichten en om eenmaal per twee jaar een eventuele correctie uit te voeren. Deze handmeting moet in het veld worden gecontroleerd met de gecompenseerde meting van de drukopnemer. Hierdoor wordt de kans op het maken van een fout in de handmeting verkleind.

Trefwoorden: freatisch grondwater, stijghoogte, drukopnemer, handmeting, kalibratie, ijking, nulpuntsdrift, Diver waterlevel logger, grondwaterstand, *drift*

Dit rapport is gratis te downloaden van [www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra) (ga naar 'Alterra-rapporten' in de grijze balk onderaan). Alterra Wageningen UR verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

 2015 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl), [www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra). Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

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

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

Alterra-rapport 2666 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Eijkelkamp Agrisearch Equipment, Léon van Hamersveld

---

# Inhoud

	<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>9</b>
	1.1 De automatische drukopnemer	9
	1.2 Probleemstelling	9
	1.3 Doel	10
<b>2</b>	<b>Materiaal en methode</b>	<b>11</b>
	2.1 De peilbuizen	11
	2.2 De drukopnemer	11
	2.3 Foutbronnen	12
	2.4 Uitvoering	13
	2.5 Statistische verwerking	13
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>14</b>
	3.1 Resultaten voor de hele set data	14
	3.2 Resultaten per peilbuis	17
<b>4</b>	<b>Visuele beoordeling van de trendlijnen</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>20</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>22</b>

---

---

# Woord vooraf

Met de komst van automatische grondwaterstandopnemers is de meetfrequentie van grondwaterstanden in peilbuizen flink toegenomen. Voor de automatisering werden grondwaterstanden meestal halfmaandelijks handmatig opgenomen met een klokje of een elektronisch peilapparaat. Nu gegevens van de grondwaterstand automatisch worden gemeten en opgeslagen, is het niet meer nodig om de peilbuizen regelmatig te bezoeken, terwijl de meetfrequentie flink kan worden opgeschroefd. Tegenwoordig is het mogelijk om automatische grondwaterstandmeters op afstand uit te lezen en is een fysiek bezoek van de peilbuislocatie theoretisch niet meer nodig. Handmatig de grondwaterstand opnemen is echter nog steeds belangrijk, omdat hiermee fouten in de automatische metingen kunnen worden opgespoord. Een specifieke fout die kan optreden bij meetinstrumenten is *drift* van het nulpunt, waarbij de waarnemingen van het meetinstrument trendmatig gaan afwijken. In deze studie worden meerjarige reeksen van automatisch waargenomen grondwaterstanden vergeleken met handmatige metingen. Onderzocht wordt of er sprake is van *drift*, welke vormen deze *drift* heeft en hoe automatische metingen hiervoor kunnen worden gecorrigeerd. Wij bedanken ir. Gerben Bakker (Alterra, Wageningen UR) voor het uitvoeren van een interne review van dit rapport.

Wageningen/Ede/Giesbeek, najaar 2015

Matheijs Pleijter  
Léon van Hamersveld  
Martin Knotters





---

# Samenvatting

Het doel van deze studie is te komen tot een generiek toepasbare correctieprocedure voor automatische grondwaterstandmetingen. Daarbij wordt onderzocht of er in de meetreeksen van drukopnemers sprake is van een trendmatige verandering van het verschil tussen de handmatige metingen van de grondwaterstand en de metingen door een drukopnemer.

Grondwaterstanden worden steeds vaker opgenomen met automatisch metende en registrerende instrumenten. Het geautomatiseerd opnemen van de grondwaterstand gebeurt niet zonder fouten. De automatische metingen met deze drukopnemers worden gecontroleerd door vergelijking met handmetingen en zo nodig gecorrigeerd. Deze correctieprocedure wordt heuristisch uitgevoerd en is op twee punten voor verbetering vatbaar:

1. Verondersteld wordt dat handmetingen foutloos zijn. Dit is echter niet het geval.
2. Automatische metingen worden bijvoorbeeld sprongsgewijs of lineair aangepast aan handmetingen, terwijl de afwijking mogelijk verloopt volgens een continue *drift*, die binnen een bepaald tijdsbestek ook niet-lineair kan zijn.

Gezien het grote belang van grondwaterstandinformatie voor landbouw-, milieu- en natuurbeleid in Nederland is het belangrijk dat deze informatie nauwkeurig is. Dit betekent onder meer dat automatische metingen moeten worden geijkt en gecorrigeerd volgens een wetenschappelijk onderbouwde en beproefde procedure. In dit onderzoek wordt een grote hoeveelheid gegevens geanalyseerd, die verzameld is door Eijkelkamp Agrisearch Equipment. Het doel van deze studie is te onderzoeken of er in meetreeksen van drukopnemers sprake is van een trendmatige verandering van het verschil tussen de handmatige metingen van de grondwaterstand en de metingen door een drukopnemer, en dit te gebruiken als basis voor een correctieprocedure. Hiervoor worden gegevens van drukopnemers vergeleken met onafhankelijk uitgevoerde handmetingen in dezelfde buizen, waarbij onderzocht wordt volgens welke patronen de verschillen zich in de tijd ontwikkelen.

Het grootste deel van de afwijkingen (69%) is negatief, dat wil zeggen dat de handmeting ondieper is dan de meting van de drukopnemer, maar de positieve afwijkingen zijn gemiddeld groter dan de negatieve afwijkingen. Het grootste gevonden verschil tussen de handmeting en de meting van de drukopnemer is een verschil van ruim -11 meter.

Van 144 buizen is de lineaire trend significant bij een significantieniveau  $\alpha=0,05$  en nemen de verschillen tussen de handmeting en de meting van de drukopnemer lineair toe of af. Significante lineaire trends in de verschillen komen voor bij peilbuizen met positieve en negatieve coëfficiënten. De mediaan van de negatieve hellingscoëfficiënten, dus dalende trends, bedraagt -0,0098 cm per dag, wat neerkomt op -3,6 cm per jaar. De mediaan van de positieve hellingscoëfficiënten bedraagt 0,0120 cm per dag, wat overeenkomt met 4,4 cm per jaar.

Bij het overgrote deel van peilbuizen (70%) is in de verschillen geen lineaire trend aangetoond. Bij de peilbuizen waar wel een significante trendmatige toename van de verschillen is waargenomen, is geen eenduidige richting in de afwijking aan te geven en ook de snelheid van toename in de verschillen varieert sterk. De afwijkingen kunnen zowel positief als negatief zijn en 'door nul lopen'. Een algemene vorm van *drift* van het nulpunt kan daarom niet worden vastgesteld. Dat betekent dat de correctieprocedures locatie- en instrumentspecifiek moeten zijn. Aanbevolen wordt om afwijkingen die zich over een periode van maximaal twee jaar voordoen, steeds groter worden en die groter zijn dan de meetfouten van handmetingen (groter dan 2 cm) lineair te corrigeren.

---

Uit deze analyse van meetgegevens van drukopnemers blijkt aan de hand van handmetingen dat er veel fouten kunnen optreden. Het is gebleken dat het regelmatig uitvoeren van handmetingen nodig is om afwijkende meetwaarden door de drukopnemers tijdig te kunnen signaleren. Handmetingen zijn daarom cruciaal voor het beoordelen van automatisch gegenereerde informatie over grondwaterstanden. Handmetingen dienen wel uitgevoerd te worden volgens een vaste werkwijze, om fouten in de handmeting te voorkomen.

---

# 1 Inleiding

## 1.1 De automatische drukopnemer

Grondwaterstanden worden steeds vaker opgenomen met automatisch metende en registrerende instrumenten. Het geautomatiseerd opnemen van de grondwaterstand gebeurt niet zonder fouten. Zo kunnen foutieve waarnemingen gedaan worden die veroorzaakt worden door *drift* van het meetinstrument, temperatuurafwijkingen, haperingen in de registratie, door compensatie van de meetgegevens voor de luchtdruk (Von Asmuth *et al.*, 2013) en met de tijdsregistratie. Daarnaast kunnen niet goed geïnstalleerde instrumenten of peilbuizen foutieve meetgegevens genereren. Hoewel ook bij handmetingen fouten gemaakt kunnen worden, blijkt dat deze fouten gemiddeld niet zo groot zijn (bij elektronische peilapparaten ligt 95% van de fouten tussen -0,9 en 2,15 cm, bij dompelklokjes tussen -2,85 en 1,2 cm; Knotters *et al.*, 2013). Het periodiek uitvoeren van handmetingen zou onderdeel moeten uitmaken van de procedure om meetfouten tijdig te kunnen opsporen (Post en Von Asmuth, 2013).

## 1.2 Probleemstelling

In Nederland en gebieden met vergelijkbare hydrologische omstandigheden is plantengroei op de meeste locaties direct afhankelijk van de grondwaterstand. Optimale grondwaterstanddiepten zijn van groot belang voor de agrarische productiemogelijkheden, natuurbeheer en -ontwikkeling, inrichting van steden en de aanleg van infrastructuur. Om het grondwaterbeheer te ondersteunen, worden sinds 1948 landsdekkend grondwaterstand- en stijghoogtemetingen verricht. De aanleiding van het nationale meetnet lag onder meer in de voedselschaarste die tijdens en na de Tweede Wereldoorlog optrad.

Momenteel worden grondwaterstanden en stijghoogten gemeten op ca. 20.000 locaties in peilbuizen. Aanvankelijk werden deze metingen handmatig verricht met een peilklokje aan een meetlint. Steeds vaker worden echter in de peilbuizen automatische drukopnemers geïnstalleerd. De automatische metingen met deze drukopnemers worden gecontroleerd door vergelijking met handmetingen en zo nodig gecorrigeerd. Deze correctieprocedure wordt heuristisch uitgevoerd en is op twee punten voor verbetering vatbaar:

1. Verondersteld wordt dat handmetingen foutloos zijn. Volgens Knotters *et al.* (2013) is dit niet het geval.
2. Automatische metingen worden vaak sprongsgewijs of lineair aangepast aan handmetingen, terwijl de afwijking mogelijk verloopt volgens een continue *drift*, die binnen een bepaald tijdsbestek ook niet-lineair kan zijn.

Gezien het grote belang van grondwaterstandinformatie voor landbouw-, milieu- en natuurbeleid in Nederland is het belangrijk dat deze informatie nauwkeurig is. Dit betekent onder meer dat automatische metingen moeten worden gevalideerd en gecorrigeerd volgens een wetenschappelijk onderbouwde en beproefde procedure. In dit onderzoek wordt een grote hoeveelheid gegevens geanalyseerd, die verzameld is door Eijkelkamp Agrisearch Equipment.

---

## 1.3 Doel

Het doel van deze studie is te komen tot een generiek toepasbare correctieprocedure voor automatische grondwaterstandmetingen. Daarbij wordt onderzocht of er in de meetreeksen van drukopnemers sprake is van een trendmatige verandering van het verschil tussen de handmatige metingen van de grondwaterstand en de metingen door een drukopnemer aan de hand van onafhankelijk uitgevoerde handmetingen in dezelfde buizen. Bij deze analyse bekijken we hoe groot de verschillen tussen de handmetingen en de metingen van de drukopnemers zijn, of de verschillen positief dan wel negatief zijn, en of, en zo ja hoe, de verschillen in de tijd toenemen.

Deze analyse beperkt zich tot het vinden van een eventuele afwijking tussen de handmetingen en metingen van drukopnemers. Wij beschrijven mogelijke foutbronnen die het verschil tussen de handmeting en de drukopnemer kunnen veroorzaken. Voor de analyse van de nauwkeurigheid van handmatige grondwaterstandmetingen verwijzen wij naar Knotters *et al.* (2013).

---

## 2 Materiaal en methode

### 2.1 De peilbuizen

Voor dit onderzoek is gebruikgemaakt van een meetnet met 474 peilbuizen die in het buitengebied, maar ook in het stedelijk gebied (in verharding en dergelijke) kunnen liggen. De peilbuizen zijn voorzien van een automatische drukopnemer. Elke drie maanden zijn hier twee jaar lang de dataloggers van de drukopnemers uitgelezen, waarbij iedere keer een handmeting is uitgevoerd. De handmetingen worden gebruikt om de gegevens van de drukopnemer te controleren. Ten behoeve van dit onderzoek zijn de gegevens alleen aan het begin van de periode gecorrigeerd voor verschillen met handmetingen, zodat de andere grondwaterstanden gebruikt kunnen worden voor de analyse.

Tijdens de uitleesronden wordt de conditie van de peilbuis gecontroleerd op inspoeling, vervuiling van de drukopnemer, vernieling, of de afsluiter correct is gemonteerd, droogstand en data van de drukopnemer. Indien nodig zijn er aanpassingen gedaan, zoals het verplaatsen van de meetlocatie, het aanpassen van de afsluiter, het schoonmaken van de peilbuis of het vervangen van een drukopnemer om een betrouwbare meetreeks te verkrijgen.

Locaties waar drukopnemers in de loop van de periode zijn vervangen, zijn niet meegenomen in de analyse (behoren niet tot de 474), omdat het doel is een methode te ontwikkelen waarmee de *drift* per instrument kan worden gecorrigeerd.

### 2.2 De drukopnemer

Een veelgebruikte waterstandopnemer is de drukopnemer, waarbij het meetinstrument – een *diver*<sup>®</sup> Water Level Logger<sup>1</sup> – in een grondwaterstandbuis wordt geplaatst. Veranderingen in de grondwaterstand zorgen ervoor dat de waterkolom boven de *diver* varieert en die variatie veroorzaakt een drukverandering die de *diver* registreert. Omdat de atmosferische luchtdruk ook van invloed is op de absolute druk die de *diver* waarneemt, moet voor de luchtdruk worden gecorrigeerd. De zogeheten 'barocompensatie' wordt achteraf uitgevoerd, door gegevens van de luchtdruk te koppelen aan de *diver*. Vervolgens wordt de gecorrigeerde druk gecontroleerd met één handmeting. Hoewel de drukopnemers in de fabriek worden geijkt, moet de drukopnemer in het veld na installatie regelmatig worden gecontroleerd door vergelijking met handmetingen. Met behulp van de handmetingen kan de meetreeks van de drukopnemer worden beoordeeld en kunnen afwijkingen als gevolg van *drift* of storingen tijdig worden opgemerkt.

De gebruikte drukopnemer (Diver<sup>®</sup> Water Level Logger) is een instrument die de absolute druk op een membraam meet, dus de druk van de bovenliggende waterkolom gesommeerd met de atmosferische luchtdruk (fig. 2.1). Om van de gemeten druk een grondwaterstand te verkrijgen, moeten enkele stappen worden ondernomen:

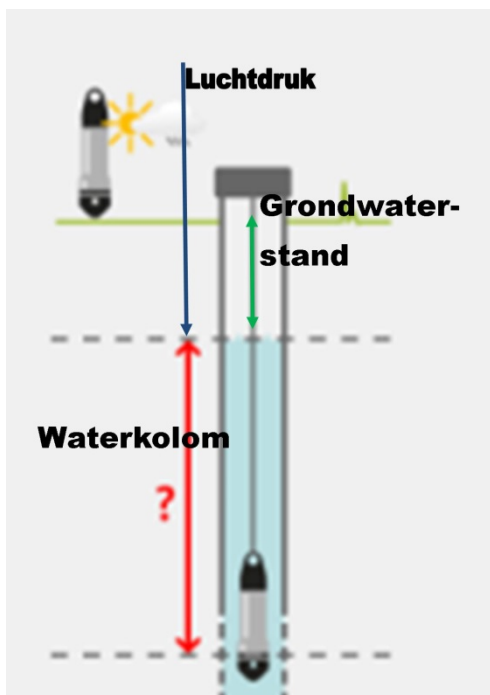
- De meting wordt gecompenseerd voor de actuele luchtdruk waarmee de druk die alleen de waterkolom op het membraam uitoefent, wordt berekend. De luchtdruk wordt gemeten met één automatische drukopnemer van hetzelfde type drukopnemer. De luchtdrukgegevens worden gevalideerd aan de hand van KNMI-data en indien nodig aangepast, voordat luchtdrukcompensatie plaatsvindt. (Zie Von Asmuth (2011) en De Meij en Von Asmuth (2011) voor een uitgebreide probleemanalyse en verbeterde procedure voor luchtdrukcorrectie.)

---

<sup>1</sup> De Diver Water level Logger komt uit een serie drukopnemers van Schlumberger Water Services en is het type drukopnemer waarvan de data zijn gebruikt voor deze analyse.

- Wanneer de gegevens zijn gecompenseerd voor de luchtdruk wordt een handmeting uitgevoerd ten opzichte van het referentieniveau (bovenkant buis, maaiveld of NAP) en daarmee wordt de hele meetreeks gecontroleerd. Voor de vergelijking van de handmetingen en de metingen van de drukopnemer wordt gebruikgemaakt van de gecompenseerde data ten opzichte van de bovenkant van de peilbuis. De handmeting wordt altijd genomen vanaf het hoogste punt van de peilbuis als deze niet recht is afgezaagd. De handmeting wordt opgemeten met een elektronisch peilapparaat.

De procedure om de gemeten drukken om te zetten naar grondwaterstanden kan worden uitgevoerd met het softwarepakket *Diver Office* dat als *freeware* op internet is te downloaden. Dit softwarepakket biedt alleen de mogelijkheid om meetreeksen te corrigeren op één handmeting, waardoor de correctie van de meetgegevens sprongsgewijs plaatsvindt. De reeksen die in deze analyse zijn gebruikt, zijn alleen aan het begin van de meetreeks gecorrigeerd, zodat het verloop van de verschillen tussen de handmetingen en de metingen van de drukopnemer zichtbaar werd. De *divers* zijn niet allemaal in het begin van de dataset geïnstalleerd, maar op verschillende tijdstippen tussen 2009 en 2012.



**Figuur 2.1** De drukopnemer in de peilbuis. De druk die wordt uitgeoefend op het membraam, is de som van de druk die wordt veroorzaakt door de waterkolom boven de drukopnemer en de luchtdruk.

## 2.3 Foutbronnen

Bij het meten van grondwaterstanden kunnen verschillende meetfouten worden gemaakt. Uit onderzoek van Knotters *et al.* (2013) blijkt dat er bij het aflezen van het meetlint afleesfouten van 100 cm kunnen voorkomen en dat met een dompelklokje systematisch te diep wordt gemeten. Ook blijkt dat peilbuizen worden verplaatst of vervangen en de nieuwe referentie niet wordt aangepast. Door veroudering van het drukmembraam in de drukopnemer kan in de loop van de tijd de waarneming van de drukopnemer geleidelijk afwijken van de werkelijke grondwaterstanden. Een geleidelijke verandering van de meetwaarden ten opzichte van de werkelijke waarden wordt *drift* van het meetinstrument genoemd en kan ook veroorzaakt worden door veranderingen in de voedingsspanning van de drukopnemer (kapotte of lege batterij). De gebruikte peilbuizen zijn niet beoordeeld volgens de criteria die Alterra (Wageningen UR) bij bodemgeografisch onderzoek hanteert (Hoogland *et al.*, 2014) ten aanzien van de geografische ligging. Een deel van de buizen ligt in bebouwd gebied. Omdat enkele buizen daarom in verharding liggen, kunnen onverwachte gebeurtenissen, zoals de toestroom van water van een weg in een peilbuis, de grondwaterstanden plotseling beïnvloeden.

---

## 2.4 Uitvoering

De datalogger registreert in een bepaald tijdsinterval de grondwaterstand. De grondwaterstand wordt uitgedrukt in centimeters ten opzichte van de bovenkant van de buis; een grondwaterstand van 2 cm onder de rand van de buis wordt genoteerd als +2 cm. De handmeting wordt uitgevoerd tussen twee registraties van de drukopnemer in. Het gemiddelde van de gelogde grondwaterstand voor de handmeting en na de handmeting wordt bij deze analyse gebruikt om de verschillen tussen de handmeting en de meting van de drukopnemer te bepalen. Verschil = handmeting – meting drukopnemer. Hierna zijn de verschillen uitgezet in de tijd vanaf de eerste handmeting. Op deze manier kan inzicht worden verkregen in het temporele verloop van de *drift*. In totaal hebben we de beschikking over 5588 onafhankelijke handmetingen, verdeeld over twee jaar, in 474 buizen. Al deze metingen kunnen met metingen door drukopnemers worden vergeleken.

## 2.5 Statistische verwerking

De gegevens (zie kader voor het format) zijn verwerkt met het statistische softwareprogramma 'R' versie 3.0. De berekende verschillen zijn gegroepeerd per locatie en in grafieken uitgezet tegen de tijd voor visuele beoordeling van het verloop van de *drift*. De datums zijn omgezet naar dagnummers vanaf het tijdstip met de eerste handmeting, waardoor dagnummer 0 de eerste dag is waarop een verschil tussen de handmeting en de meting van de drukopnemer is berekend.

Onderzocht is of er sprake is van een generieke afwijking in de tijd voor alle locaties. Hiertoe zijn alle reeksen gecorrigeerd voor het verschil dat op dag 0 werd waargenomen, zodat de reeksen vergelijkbaar zijn. Vervolgens zijn alle reeksen in één tijdreeksplot weergegeven om een eventueel algemeen patroon zichtbaar te maken.

Vervolgens onderzochten we de *drift* van de afzonderlijke locaties. Dit is gedaan voor locaties waarbij op ten minste vijf tijdstippen verschillen tussen handmeting en meting van de drukopnemer zijn berekend. Voor elk van deze verschilreeksen is een lineaire trendlijn gefit en is beoordeeld of de helling van deze trendlijn groter is dan nul (significant groter dan nul bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van  $\alpha=0.05$ ), ofwel of er *drift* is geconstateerd. De gefitte lineaire trendlijn heeft de volgende vorm:

$$y = b_0 + b_1x + \epsilon$$

waarin  $y$  het verschil is tussen handmeting en meting van de drukopnemer,  $x$  het dagnummer,  $b_0$  de parameter voor het intercept,  $b_1$  de parameter voor de helling en  $\epsilon$  het residu, dat verondersteld is onafhankelijk en normaal verdeeld te zijn met gemiddelde 0 en standaardafwijking  $\sigma_\epsilon$ . Gezien de lengte van de tijdsintervallen tussen de handmetingen is de veronderstelling van onafhankelijkheid redelijk.

Kop en eerste 4 records uit het gegevensbestand met registratie van een drukopnemer en een handmeting

```
Gebied,Locatie,Type,Datum,Handmeting,Calc,Gem,Min,Max  
Ede,32GL0026,ESENSE_PEILBUIS_MANUAL,25-2-2013 11:25,976,,974.33,973.4,975.32  
Ede,32GL0026,ESENSE_PEILBUIS_MANUAL,17-4-2013 11:08,968,,968.89,968.49,969.72  
Ede,32GL0026,ESENSE_PEILBUIS_MANUAL,22-5-2013 13:56,966,,969.34,968.14,970.59  
Ede,32GL0026,ESENSE_PEILBUIS_MANUAL,7-8-2013 11:51,951,,954.73,950.14,966.46
```

# 3 Resultaten

## 3.1 Resultaten voor de hele set data

Het gemiddelde absolute verschil in de grondwaterstand tussen de handmeting en de meting van de drukopnemer bedraagt ca. 9 cm (Tabel 3.1). Bij slechts acht van de 5583 metingen is de meting met de hand precies gelijk aan de meting van de drukopnemer. In 2398 (43%) van de gevallen is het verschil minder dan 2 cm. In deze gevallen kan het verschil worden verklaard uit de nauwkeurigheid van de handmeting (Knotters et al., 2013). Bij 57% van de metingen is het verschil groter dan 2 cm en is een vorm van correctie nodig. Het grootste deel van de afwijkingen (73%) is negatief, dat wil zeggen dat de handmeting ondieper is dan de meting van de drukopnemer, maar de positieve afwijkingen zijn gemiddeld groter dan de negatieve afwijkingen (positieve afwijkingen zijn gemiddeld +12 cm en negatieve -7 cm). Zeven van de 5583 handmetingen zijn ca. 10 meter dieper dan de meting van de drukopnemer. Het grootste gevonden verschil tussen de handmeting en de meting van de drukopnemer is een verschil van 11 meter. Dergelijke afwijkingen hebben direct tot herstel of vervanging van apparatuur geleid. Het is opvallend dat de handmetingen vaak ondieper zijn dan de metingen van de drukopnemer, omdat uit onderzoek juist is gebleken dat de handmetingen systematisch te diep zijn (Knotters et al., 2013). De mediane verschillen wijken ver af van de gemiddelde verschillen, wat wijst op een scheve verdeling van de verschillen.

Tabel 3.1

*Verskil (in cm) tussen de handmeting en de meting van de drukopnemer*

Verschillen	Aantal	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	5%	95%
Alle	5583	-1.84	-1.65	-1106	732.62	-8.4	6.57
Absolute	5583	8.58	2.38	0	1106	0.21	13.19
Positieve	1514	12.43	1.73	0	732.62	0.10	22.67
Negatieve	4069	-7.15	-2.59	-1106	-0.01	-10.24	-0.3

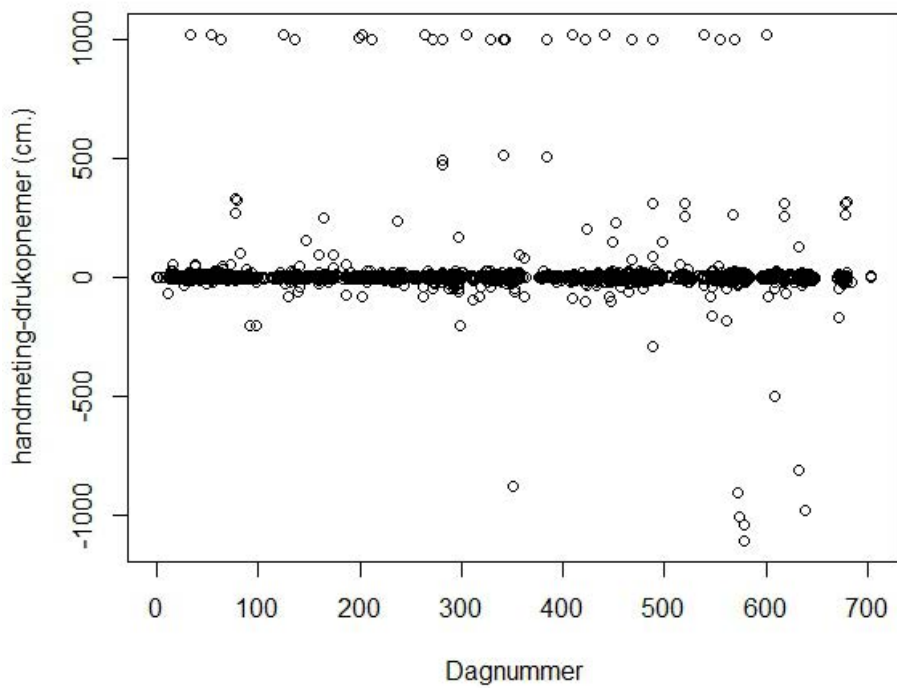
In Figuur 3.1 zijn de verschillen tussen de handmeting en de meting van de drukopnemers uitgezet in de tijd. De tijd is uitgedrukt in dagen na de eerste handmeting. Het is zichtbaar dat zich zeer grote verschillen voordoen (tot elf meter), maar het grootste deel van de verschillen is kleiner dan 10 cm. Bij een *drift* van het nulpunt wordt verondersteld dat de verschillen tussen handmeting en meting van de drukopnemer in de tijd toe- of afneemt. Uit Figuur 3.1 is echter niet op te maken dat de verschillen tussen de handmeting en de drukopnemer na verloop van tijd groter worden.

Op een bepaald aantal locaties zijn de drukopnemers in de loop van de periode vervangen, omdat deze niet goed werkten. Een drukopnemer die niet goed functioneert, kan nog wel metingen registreren, maar de uitkomsten worden door de gebruiker niet geloofwaardig geacht. Een criterium dat gebruikt wordt, is dat wanneer het verschil tussen de handmeting en de drukopnemer meer dan 10 cm bedraagt, de drukopnemer wordt vervangen (persoonlijke mededeling Eijkelkamp Agrisearch Equipment). Opvallend is dat zich in de loop van de meetperiode grote fouten blijven voordoen. In Figuur 3.2 zijn alle verschillen tussen handmeting en meting van de drukopnemer die groter zijn dan 10 cm weggelaten.

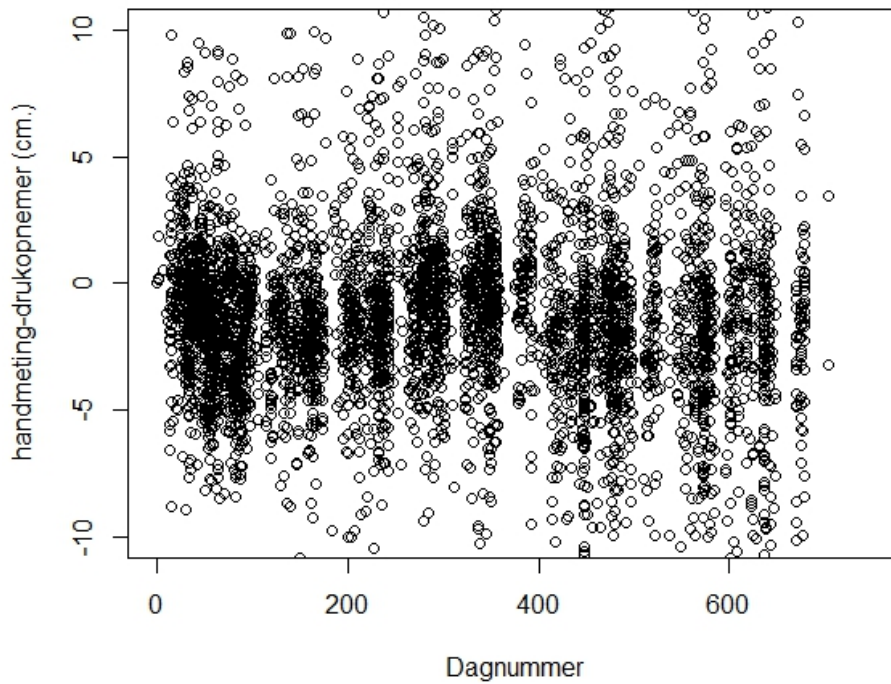
Onderzoek van Knotters et al. (2013) laat zien dat bij de uitvoering van een handmatige meting grote fouten (ca. 100 cm) kunnen worden gemaakt bij het aflezen van het meetlint, maar dat 95% van de waarnemingsfouten ligt tussen ca. -2 en +2 cm. In Figuur 3.3 zijn alle verschillen die kleiner zijn dan |3 cm| uit het zicht gehaald. In deze laatste figuur is duidelijk zichtbaar dat negatieve verschillen oververtegenwoordigd zijn ten opzichte van positieve. Aan de hand van deze analyse kan



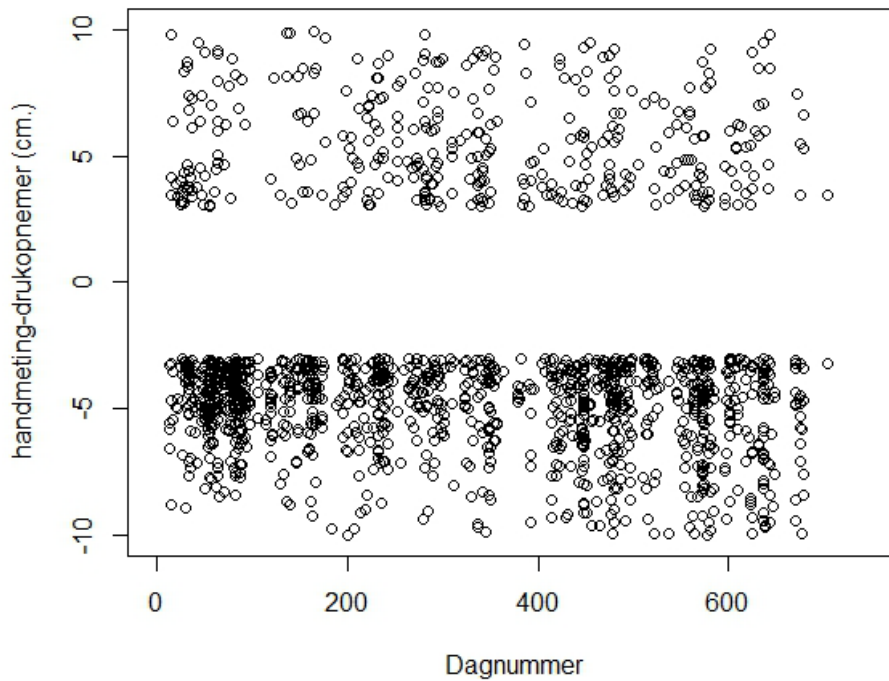
geconcludeerd worden dat de richting en omvang van de afwijkingen verschillen van reeks tot reeks en dat de gegevens dus per locatie moeten worden beoordeeld.



**Figuur 3.1** Verschillen tussen de handmeting en de meting van de drukopnemer uitgezet tegen de tijd, vanaf de eerste meting. Het verschil is bij de eerste meting op nul gesteld, om een indruk te krijgen van een eventueel algemeen patroon in het verloop van de verschillen.

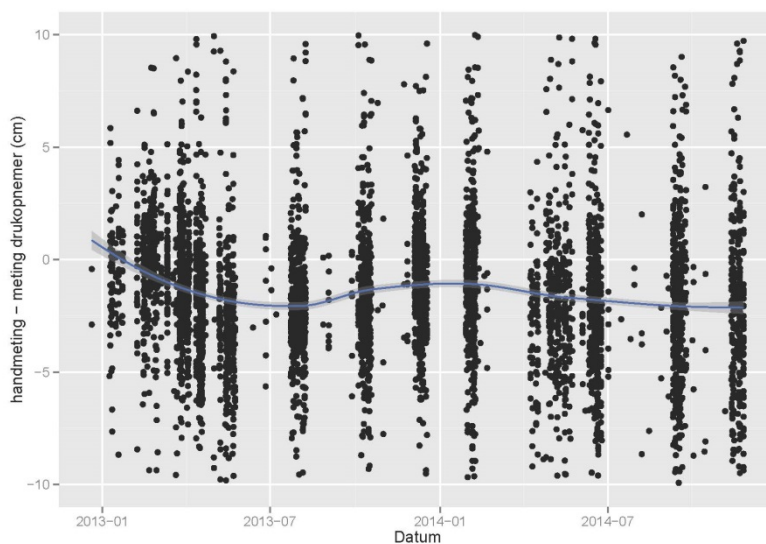


**Figuur 3.2** Verschillen tussen de handmeting en de meting van de drukopnemer uitgezet in de tijd, waarbij de verschillen groter dan 10 cm zijn weggelaten. Het eerste verschil is op nul gesteld.



**Figuur 3.3** Verschillen tussen de handmeting en de meting van de drukopnemer uitgezet in de tijd, waarbij de verschillen groter dan 10 cm en kleiner dan 3 cm zijn weggelaten.

Om te beoordelen of er een seizoeneffect aanwezig is in de verschillen tussen handmetingen en metingen van drukopnemers, zetten wij deze verschillen uit tegen de datum (zie Figuur 3.4). Een seizoeneffect zou bijvoorbeeld kunnen worden veroorzaakt door de invloed van temperatuur op de metingen van de drukopnemers. Figuur 3.4 laat in het eerste jaar een fluctuatie zien die als seizoenfluctuatie zou kunnen worden geïnterpreteerd. In het tweede jaar is deze fluctuatie echter nauwelijks zichtbaar. Daarom vinden we in Figuur 3.4 geen duidelijke aanwijzing voor een seizoeneffect.



**Figuur 3.4** Verschillen tussen de handmeting en de meting van de drukopnemer uitgezet tegen de datum, waarbij de verschillen groter dan 10 cm zijn weggelaten. De lijn is het resultaat van smoothing van de data met loess (local polynomial regression fitting).

## 3.2 Resultaten per peilbuis

Voor 473 peilbuizen waarvoor ten minste vijf verschillen per peilbuis konden worden berekend, zijn de verschillen geanalyseerd.

Bij driekwart (332) van deze 473 peilbuizen kwamen zowel positieve als negatieve verschillen voor. Dat wil zeggen dat de ene keer de handmeting dieper en een andere keer ondieper is dan de meting van de drukopnemer. Bij 114 peilbuizen zijn alle handmetingen ondieper dan de metingen van de drukopnemer en bij 27 peilbuizen is dit andersom.

Per peilbuis zijn de verschillen tussen de handmeting en de meting van de drukopnemer geplot en is een lineaire trendlijn gefit. Bij 144 reeksen is er een lineaire trend waarneembaar (significant bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van  $\alpha=0,05$ ). Dit betreft 95 dalende trends en 49 stijgende. Dat wil zeggen dat bij 392 reeksen (70%) geen toe- of afname van de verschillen in handmeting en drukopnemer kon worden aangetoond. Tabel 3.2 vat de 144 regressiemodellen met significante hellingparameters samen.

### Intercept (waarde op dag nul)

De meetreeksen beginnen niet alle vanaf het moment dat de *diver* is geïnstalleerd en ingesteld. Er kan zich daarom al een systematische afwijking tussen hand- en *diver*-meting hebben ontwikkeld voorafgaand aan het begin van de meetreeks. Bij 74 van de 144 reeksen met een significante lineaire *drift* (51%) ligt het intercept tussen -2 en +2 cm. Het grootste intercept bedraagt -475,65 cm. Dit intercept werd gekalibreerd bij een reeks waarin twee verschilwaarden voorkomen van ca. -10 meter.

### Helling

Omdat er enkele uitschieters voorkomen en niet kan worden verondersteld dat de gekalibreerde coëfficiënten voor intercept en helling symmetrisch zijn verdeeld, richten wij ons op de mediaan van de gekalibreerde waarden (zie Tabel 3.2). De mediaan van de negatieve hellingcoëfficiënten, dus dalende trends, bedraagt -0,0098 cm per dag, wat neerkomt op -3,6 cm per jaar. De mediaan van de positieve hellingcoëfficiënten bedraagt 0,0120 cm per dag, wat overeenkomt met 4,4 cm per jaar. De steilste helling bedraagt 1,083 cm per dag, maar deze locatie is al eerder opgemerkt door een groot aantal verschillen van ca. 10 m.

Tabel 3.2

*Samenvatting van de regressiecoëfficiënten van de trendmatige verschillen tussen een handmeting en een meting van de drukopnemer van 144 buizen met een significante helling ( $P<0.05$ ).*

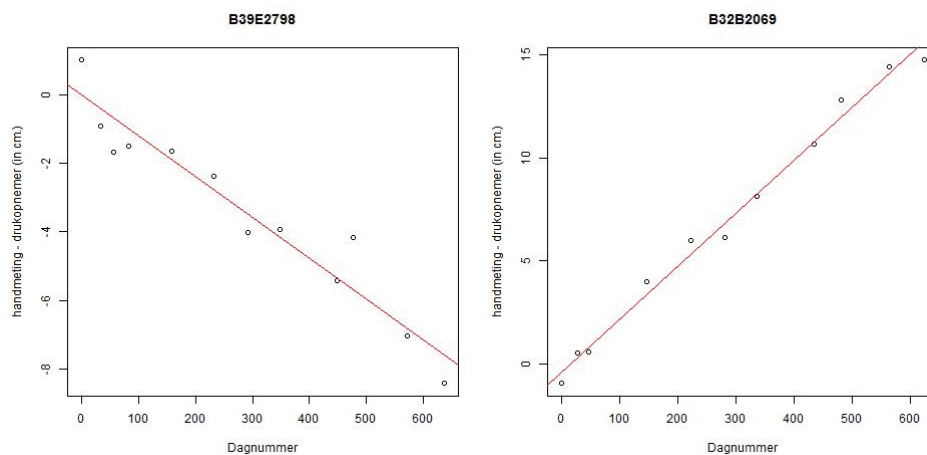
	Alle modellen ( $n=144$ )		Modellen met negatieve hellingcoëfficiënt ( $n=95$ )		Modellen met positieve hellingcoëfficiënt ( $n=49$ )	
	intercept	helling	intercept	helling	intercept	helling
gemiddelde	-2.97	0.0011	1.88	-0.0182	-12.38	0.0386
standaardafwijking	40.42	0.0955	8.43	0.0281	67.75	0.1532
minimum	-475.65	-0.2066	-5.44	-0.2066	-475.65	0.0039
eerste kwartiel	-2.27	-0.0128	-1.54	-0.0164	-4.29	0.0083
mediaan	-0.91	-0.0060	-0.40	-0.0098	-2.18	0.0120
derde kwartiel	0.79	0.0085	1.81	-0.0063	-0.69	0.0201
maximum	64.49	1.0832	64.49	-0.0025	12.31	1.0832

## 4 Visuele beoordeling van de trendlijnen

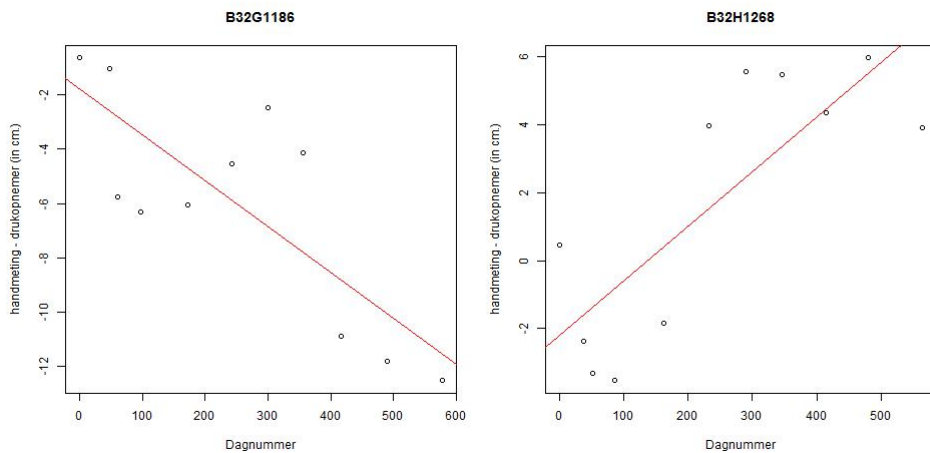
*Drift* van het meetinstrument is een trendmatige verandering in de meetwaarden, terwijl de werkelijke waarden niet veranderen. Als er bij drukopnemers sprake is van *drift*, uit zich dit in het geleidelijk groter worden van het verschil tussen de handmetingen en de metingen van de drukopnemer. Figuur 4.1 geeft deze trendmatige verandering weer voor buis 39E2798 met een negatieve trend en voor buis 32B2069 met een positieve trend.

Er zijn reeksen waarin er sprake lijkt van een trendbreuk (Figuur 4.2). Er is weliswaar sprake van significante lineaire dalende of stijgende trends, maar de grafieken geven eerder staptrends aan.

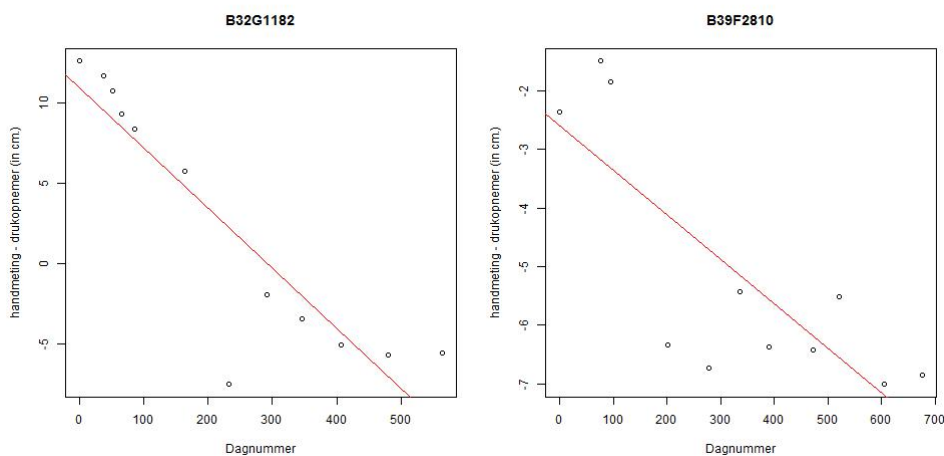
Nagetrokken is of er andere verklaringen dan *drift* zijn voor verschillen tussen handmetingen en metingen van drukopnemers. Er zijn buizen waarbij de *offset* is veranderd, bijvoorbeeld 32G1182 en 39F2810 (zie Figuur 4.3). Merk op dat bij de reeks van 32G1182 bovendien sprake lijkt van een dalende lineaire trend. Buis 39F2883 en buis 39F2839 hebben een offsetverandering gehad; zie Figuur 4.4 voor de effecten hiervan op de verschillen tussen handmetingen en metingen van drukopnemers.



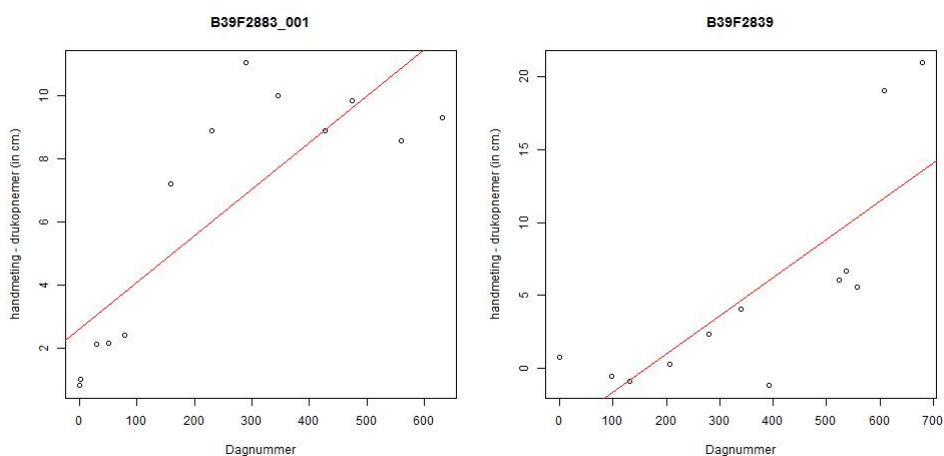
**Figuur 4.1** Buis 39E2798 en buis 32B2069: trendmatige toename van het verschil tussen de handmetingen en de metingen van de drukopnemer, respectievelijk dalend en stijgend.



**Figuur 4.2** Buis 32G1186 en 32H1268: sprongsgewijze veranderingen in de verschillen tussen handmetingen en metingen van de drukopnemer.



**Figuur 4.3** Buis 32G1182 en 39F2810: buizen waarbij de offset is gewijzigd.



**Figuur 4.4** Buis 39F2883 is verplaatst en de locatie van buis 39F2839 is gevoelig voor verstoring.

---

## 5 Conclusies en aanbevelingen

Om te komen tot een correctieprocedure voor grondwaterstandmetingen, hebben we in deze studie onderzocht of er een trend waarneembaar is in het verschil tussen de handmatige metingen van de grondwaterstand en metingen met een drukopnemer. Van 474 peilbuizen analyseerden we de verschillen tussen handmetingen en waarnemingen van drukopnemers. Uit de resultaten van deze analyse concluderen we het volgende:

1. Een algemeen systematisch verloop in de tijd tussen handmetingen en metingen van drukopnemers kon niet worden aangetoond.
2. Bij 43% van de metingen is het verschil tussen handmeting en meting van drukopnemer kleiner dan 2 cm. In deze gevallen kan het verschil worden verklaard uit de nauwkeurigheid van de handmeting (Knotters *et al.*, 2013). Bij 57% van de metingen is het verschil groter dan 2 cm en is een vorm van correctie nodig.
3. Voor individuele reeksen met lengtes van ca. twee jaar konden significante lineaire trends in de verschillen tussen handmetingen en metingen van drukopnemers worden aangetoond bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van  $\alpha=0,05$ . Deze lineaire trends waren vaker negatief dan positief en de hellingscoëfficiënten variëren van reeks tot reeks.
4. In een aantal gevallen lijken, op basis van visuele beoordeling, staprends aanwezig te zijn.

Op basis van de analyseresultaten komen we tot de volgende aanbevelingen:

1. De verschillen tussen een handmatige meting van de grondwaterstand en een meting door een drukopnemer kunnen aanzienlijk zijn en oplopen tot meerdere meters. Dergelijke grote verschillen kunnen worden veroorzaakt door gebruik van andere referenties, door het veranderen van het referentievlak (buis verlengen of inkorten) of door het verplaatsen van de peilbuis. De werkwijze is dat drukopnemers die meer dan 10 cm afwijken van de handmeting vervangen worden. Door de controle op het verschil tussen de handmeting en de meting van de drukopnemer te herhalen, kan voorkomen worden dat goede waarnemingen worden verworpen en goed functionerende drukopnemers worden afgekeurd.
2. Omdat er geen generiek systematisch verloop in de tijd tussen handmetingen en metingen van alle drukopnemers samen kon worden aangetoond, bevelen we aan per drukopnemer een aparte correctie toe te passen als de verschillen oplopen tot meer dan 2 cm. Bij verschillen < 2 cm wordt vanwege de onnauwkeurigheid van de handmetingen geen correctie toegepast.
3. Over een periode van ca. twee jaar kan de *drift* worden benaderd met een lineair verband. Wij bevelen aan dit verband te gebruiken bij de correctie van de metingen van de drukopnemer.
4. Als uit visuele beoordeling van de verschilreeks een staprend aannemelijk lijkt, bevelen we aan om eerst de oorzaak na te gaan alvorens een lineaire correctie toe te passen.
5. Uit deze studie blijkt dat het regelmatig uitvoeren van handmetingen nodig is om afwijkende meetwaarden door de drukopnemers tijdig te kunnen signaleren. Wij bevelen aan om ten minste vier keer per jaar een handmeting uit te voeren, en eenmaal per twee jaar een correctie uit te voeren volgens bovenstaande regels.
6. Om onnauwkeurigheid van de handmetingen te verkleinen, wordt aanbevolen handmetingen als volgt te nemen:
  - a. De handmeting dient driemaal te worden uitgevoerd. Hierbij is het van belang om de handmeter telkens van bovenaf het wateroppervlakte te laten raken. Hierdoor kan er geen verschil ontstaan in de hoogte van het grondwater als gevolg van het inbrengen van het dompelstuk. Elke handmeting dient te worden uitgevoerd met een bepaalde tussentijd. Er kan worden gedacht aan een handmeting van de grondwaterstand voor, tijdens en na het uitlezen van een automatische drukopnemer.
  - b. De handmeting moet in het veld vergeleken worden met de gecompenseerde automatische drukmeting. Hierbij kan gedacht worden aan het direct invoeren van de data in een database of het uitlezen van een *diver* met een smartphone welke interne barocompensatie kan uitvoeren (hiervoor is een *diver*-uitleesapparaat bij Eijkelkamp in ontwikkeling). Een

---

bijkomstigheid is dat er direct bepaald kan worden of een automatische drukopnemer naar behoren werkt.

- c. Tijdens het verrichten van de handmeting is het noodzakelijk om inspoeling van regenwater waar te nemen. Dit is te zien aan uitschieters in de data en slib in en rond de peilbuis. Als dit zo is, moet hiermee rekening worden gehouden bij de interpretatie van de afwijking tussen de handmeting en de *diver*-meting.

---

# Literatuur

- Asmuth, J.R. von, 2011. *Over de kwaliteit, frequentie en validatie van druksensorreeksen (t.b.v. een optimale meetfrequentie en verwerkingsprotocol voor verdrogingsmeetnet Overijssel)*. Nieuwegein, KWR, rapport KWR 2010.001.
- Asmuth, J.R. von en F.C. van Geer, 2013. *Kwaliteitsborging grondwaterstands- en stijghoogtegegevens. Op weg naar een landelijke standaard*. Nieuwegein, KWR, rapport KWR 2013.027.
- Endale, D.M. D., S. Fisher, M. B. Jenkins en H.H. Schomberg, 2011. Difficult lessons learned in measurement stage and flow rate on small watersheds. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* **27**(6): 933-936
- Freeman, L.A., M.C. Carpenter, D.O. Rosenberry, J.P. Rousseau, R. Unger en J.S. McLean, 2004. *Use Of Submersible Pressure Transducers In Water-Resources Investigations*. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
- Hoogland, T., M. Knotters en M. Pleijter, 2011. *Actualisatie van de grondwatertrappenkaart van holoceen Nederland. Opzet van het veldonderzoek*. Wageningen, Alterra-rapport 2280.
- Hoogland, T., M. Knotters, M. Pleijter en D.J.J. Walvoort, 2014. *Actualisatie van de grondwatertrappenkaart van holoceen Nederland. Resultaten van het veldonderzoek*. Wageningen, Alterra, rapport 2612.
- Knotters, M., Th. de Meij en M. Pleijter, 2013. *Nauwkeurigheid van handmatig gemeten grondwaterstanden en stijghoogtes*. Wageningen, Alterra-rapport 2476.
- Meij, Th. de en J. von Asmuth, 2011. Correctie van eigen luchtdrukmetingen is noodzakelijk. *H<sub>2</sub>O* 2011(4), blz. 29-32.
- Post, V.E.A. en J.R. von Asmuth, 2013. Hydraulic head measurements—new technologies, classic pitfalls. *Hydrogeology Journal* **21**: 737–750.





---

Alterra Wageningen UR  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra)

Alterra-rapport 2666  
ISSN 1566-7197



---

Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

---



To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



Alterra Wageningen UR  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 317 48 07 00  
[www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra)

Alterra-rapport 2666  
ISSN 1566-7197

Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

