



Nauwkeurigheid van handmatig gemeten grondwaterstanden en stijghoogtes

Verslag van een veldexperiment

M. Knotters, Th. de Meij en M. Pleijter

Nauwkeurigheid van handmatig gemeten grondwaterstanden en stijghoogtes

Verslag van een veldexperiment

M. Knotters¹, Th. de Meij² en M. Pleijter¹

1 Alterra Wageningen UR

2 Provincie Overijssel

Dit onderzoek is uitgevoerd door Alterra Wageningen UR in opdracht van en gefinancierd door de provincie Overijssel.

Alterra Wageningen UR
Wageningen, december 2013

Alterra-rapport 2476
ISSN 1566-7197

Knotters, M., Th. de Meij en M. Pleijter, 2013. *Nauwkeurigheid van handmatig gemeten grondwaterstanden en stijghoogtes; Verslag van een veldexperiment*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2476. 32 blz.; 7 fig.; 6 tab.; 7 ref.

We onderzochten de nauwkeurigheid van handmetingen van grondwaterstanden en stijghoogtes in een experiment met zestien buizen en zestien waarnemers. We analyseerden hierbij het effect van het type peilklokje: het dompelklokje dat bestaat uit een messing buisje met een diameter van 17 mm, en een elektrisch peilapparaat met geluidssignaal. Daarnaast onderzochten we of de afwerking van de buis en de aanwezigheid van verbindingsnaden effect had op meetnauwkeurigheid. Een belangrijke foutenbron bleek de slechte afleesbaarheid te zijn van meetlinten die waren bevestigd aan elektronische peilapparaten. Hierdoor werden afleesfouten van circa 100 cm gemaakt. Als we deze afleesfouten buiten beschouwing laten, dan ligt bij elektronische peilapparaten 95% van de waarnemingsfouten tussen -0.9 en +2.15 cm, en bedraagt de mediane fout 0.25 cm. Bij dompelklokjes ligt 95% van de waarnemingsfouten tussen -2.85 en +1.2 cm, en bedraagt de mediane fout 0.15 cm.

Trefwoorden: freatisch grondwater, peilbuis, dompelklokje, elektronisch peilapparaat

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.rapportbestellen.nl.

© 2013 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, 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.

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
	1.1 Probleemstelling en achtergrond	9
	1.2 Doel	9
	1.3 Leeswijzer	10
2	Materialen en methode	11
	2.1 Meetinstrumenten	11
	2.2 Opzet en uitvoering veldexperiment	11
	2.2.1 Opzet	11
	2.2.2 Uitvoering	12
	2.3 Statistische verwerking	14
3	Resultaten	15
	3.1 Waarnemingen	15
	3.2 Analyse van de meetfouten	15
	3.3 Kwantificering van de nauwkeurigheid	17
4	Conclusies en aanbevelingen	19
	Literatuur	20
	Bijlage 1 Foto's van de meetpunten	21
	Bijlage 2 Veldinstructie	23
	Bijlage 3 Waarnemingen	25
	Bijlage 4 Resultaten variantieanalyse	27

Woord vooraf

Waarschijnlijk is er geen ander land ter wereld waar zoveel grondwaterstanden en stijghoogtes worden gemeten als in Nederland. Dat is niet verwonderlijk. Grondwater bevindt zich hier doorgaans op geringe diepte en is daardoor 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. Betrouwbare informatie over grondwaterstand en stijghoogte is van economisch en ecologisch belang. Waterbeheerders willen graag weten hoe diep het grondwater zit, zodat zij kunnen ingrijpen als dat nodig is.

Grondwaterstanden en stijghoogtes worden vanouds gemeten met een klokje dat aan een meetlint is bevestigd. Algemeen wordt aangenomen dat deze methode heel nauwkeurig is, maar dit is nauwelijks gekwantificeerd. Het experiment waarvan wij in dit rapport verslag doen brengt daar verandering in. Onze dank gaat uit naar de personen en instanties die dit experiment mogelijk maakten: de provincie Overijssel, Landschap Overijssel en in het bijzonder Kristian van Oene van Landschap Overijssel, die niet alleen beheerder is van het Boetelerveld maar ook coördinator van de vrijwilligers.

Wageningen/Zwolle, oktober 2013,

Martin Knotters
Thomas de Meij
Matheijs Pleijter

Samenvatting

Inleiding

Grondwaterstands- en stijghoogtemetingen 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 kan op het meetlint de diepte van het wateroppervlak ten opzichte van de bovenkant van de buis worden afgelezen. 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 te kalibreren en te controleren blijven handmatige waarnemingen met een meetlint en klokje of met een elektronisch peilapparaat met geluidssignaal noodzakelijk. Kwantitatieve gegevens over de nauwkeurigheid van handmatige metingen van grondwaterstand en stijghoogtes zijn niet voorhanden.

Dit onderzoek heeft als doel de fout die wordt gemaakt bij het handmatig meten van grondwaterstanden en stijghoogtes in buizen te kwantificeren. Hiertoe voerden we een experiment uit waarbij de waterstanden in buizen met hoge nauwkeurigheid werden ingesteld. Het experiment beperkt zich tot analyse van de nauwkeurigheid waarmee de diepte tot een wateroppervlak in een buis handmatig wordt waargenomen en geregistreerd.

Materialen en methode

We onderzochten de nauwkeurigheid van metingen met twee typen peilklokjes: het dompelklokje dat bestaat uit een messing buisje van 17 mm doorsnede en een elektrisch peilapparaat met geluidssignaal.

Het experiment was opgezet als een factoriële 2^4 -proef. 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 (bijvoorbeeld 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 en dit leverde 256 waarnemingen op. Negen waarnemers waren vrijwilligers van Landschap Overijssel, en zeven professionele meetnetbeheerders.

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 gedurende het experiment. Daarom namen we een stand gedurende het experiment aan van 1.5 mm onder de beginstand. Daarnaast is met handmatige metingen de begin- en eindstand gecontroleerd. Bij drie buizen bleek dat door onvoorziene technische problemen 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 het statistische programma Genstat, versie 15. Omdat bij drie peilbuizen de meetfout niet nauwkeurig kon worden vastgesteld, zijn de gegevens niet verwerkt met variantieanalyse voor een factoriële proef, maar met lineaire regressie.

Resultaten

Opmerkelijk is 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. Als de afleesfouten van circa 100 cm buiten beschouwing worden gelaten, dan ligt bij een elektronisch peilapparaat 95% van de meetfouten in het interval $[-0.90 \text{ cm}, 2.15 \text{ cm}]$. Bij een dompelklokje ligt 95% van de meetfouten in het interval $[-2.85 \text{ cm}, 1.2 \text{ cm}]$. De mediaan van de meetfout is bij elektronische peilapparaten 0.25 cm en bij dompelklokjes 0.15 cm.

Twee waarnemers maakten aantoonbaar grotere waarnemingsfouten dan de andere. Dit moet worden toegeschreven 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.

Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de resultaten van de analyses concluderen we 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. Als de afleesfouten van circa 100 cm buiten beschouwing worden gelaten, kan worden geconcludeerd dat met elektronische peilapparaten met geluidssignaal 95% van de waarnemingsfouten ligt tussen -0.9 en $+2.15$ cm, en de mediane fout 0.25 cm bedraagt. De verdeling van deze fouten kan eventueel worden benaderd met een normale verdeling met een gemiddelde van 0.5 cm en een standaardafwijking van 0.84 cm. Bij dompelklokjes ligt 95% van de waarnemingsfouten tussen -2.85 en $+1.2$ cm. De mediane fout bedraagt 0.15 cm. Met dompelklokjes wordt de grondwaterstand relatief vaak te diep gemeten.

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. Verder zou het heel nuttig zijn om vaker tijdens bijeenkomsten van waarnemers van grondwaterstanden herhaalde waarnemingen van grondwaterstanden te verrichten, en de resultaten ervan terug te koppelen aan de waarnemers.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling en achtergrond

Grondwater bevindt zich in Nederland vaak op geringe diepte, en is daardoor van invloed op de vochtvoorziening van gewassen en vegetaties, voor de uitspoeling van nutriënten, voor de aanvoer van zout en voor de bewerkbaarheid van de bodem. Om waterbeheerders en beleidsmakers van betrouwbare informatie te kunnen voorzien worden grondwaterstanden en stijghoogtes al sinds ca. 1950 op veel locaties gemeten (Visser, 1958). Deze metingen worden vaak uitgevoerd door een klokje, bevestigd aan een meetlint, in een buis met een filter te laten zakken. Door het filter kan het grondwater de buis in- en uitstromen. Zodra het klokje het wateroppervlak in de buis raakt klinkt er een 'plop'. Dit is het moment om op het meetlint af te lezen hoe diep de onderkant van het klokje en dus het wateroppervlak zich onder de bovenkant van de buis bevindt. Deze stand wordt vervolgens op een formulier genoteerd, waarna verdere verwerking plaats vindt.

In plaats van een klokje wordt ook wel een elektronisch peilapparaat met geluidssignaal gebruikt. De werking is vergelijkbaar met een meetlint met klokje, alleen klinkt er nu een piepsignaal als de sensor het wateroppervlak raakt.

De laatste jaren zijn er in veel buizen automatische drukopnemers geïnstalleerd, waarmee met hoge frequentie standen kunnen worden gemeten. Von Asmuth (2010) geeft een analyse van de nauwkeurigheid van deze metingen. Om automatische drukopnemers 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 (2005) een nauwkeurigheid aan te houden van $\pm 1,0$ cm, en 1 cm voor de hoogte van het meetpunt ten opzichte van het referentieniveau, NAP. Het is niet duidelijk of hier een standaardfout of een 95%-betrouwbaarheidsinterval wordt bedoeld. Volgens Ritzema et.al. (2012, p. 59) zijn kwantitatieve gegevens over de betrouwbaarheid niet voorhanden. Om een compleet beeld te krijgen van de betrouwbaarheid van informatie over de grondwaterstand, en om bijvoorbeeld automatische drukopnemers te kunnen kalibreren en controleren, is het van belang dat de nauwkeurigheid van handmatige waarnemingen van grondwaterstanden wordt gekwantificeerd.

1.2 Doel

Het doel van dit onderzoek is om de fout die wordt gemaakt bij het handmatig meten van grondwaterstanden en stijghoogtes in buizen te kwantificeren. Hiertoe voerden we een experiment uit waarbij de waterstanden in buizen met hoge nauwkeurigheid werden ingesteld. Bij dit experiment analyseerden we het effect van het type meetinstrument (meetlint met klokje of elektronisch peilapparaat met geluidssignaal), het effect van de afwerking van de buis (boven of onder maaiveld), het effect van de aanwezigheid van een verbindingsnaad boven het wateroppervlak, het effect van fouten bij het noteren van de afgelezen stand (bijvoorbeeld 15 in plaats van 51), en de variatie in nauwkeurigheid tussen verschillende waarnemers.

Het experiment beperkt zich tot analyse van de nauwkeurigheid waarmee de diepte tot een wateroppervlak in een buis handmatig wordt waargenomen en geregistreerd. Voor een beschrijving van andere foutenbronnen bij het waarnemen van grondwaterstanden verwijzen wij naar Ritzema et. al. (2012). Voor een analyse van de nauwkeurigheid van grondwaterstanden die worden geregistreerd met automatische drukopnemers verwijzen wij naar Von Asmuth (2010) en De Meij en Von Asmuth (2011).

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de meetinstrumenten, de opzet van het veldexperiment en de analysemethoden. Hoofdstuk 3 geeft de resultaten van de analyses, en hoofdstuk 4 sluit af met de conclusies.

2 Materialen en methode

2.1 Meetinstrumenten

Bij het experiment zijn twee typen peilklokjes gebruikt. Het eerste type is het dompelklokje dat bestaat uit een messing buisje met een diameter van 17 mm, aan de onderkant open en aan de bovenkant gesloten, dat een duidelijke 'plop' laat horen als een waarnemer het in een peilbuis laat zakken en het klokje het wateroppervlak raakt. Het dompelklokje is opgehangen aan een meetlint, waardoor de waarnemer bij de bovenkant van de peilbuis kan aflezen wat de afstand is tussen bovenkant buis en de grondwaterstand.

Het tweede type peilklokje is een moderne variant, waarbij het dompelklokje vervangen is door een elektrische sensor en waarbij het apparaat een hard piepend geluid maakt zodra de sensor het water raakt. Ook hier leest de waarnemer op het meetlint de afstand af tussen bovenkant buis en de grondwaterstand in de buis. Figuur 2.1 geeft voorbeelden van beide instrumenten.

Bij de uitvoering van het experiment werd bij ieder meetpunt een peilklokje gelegd. Alle standen in een buis zijn dus met hetzelfde peilklokje gemeten.



Figuur 2.1 Meetlint met akoestisch dompelklokje (links) en elektronisch peilapparaat met geluidssignaal (rechts).

2.2 Opzet en uitvoering veldexperiment

2.2.1 Opzet

Het experiment was opgezet als een factoriële 2^4 -proef, met zestien buizen. De volgende vier factoren werden onderzocht:

1. Type meetinstrument: een meetlint met een dompelklokje met een diameter van 17 mm, en een elektronisch peilapparaat met geluidssignaal.
2. Buizen met of zonder een verbindingsnaad boven het waterniveau (waarop klokje of sensor zou kunnen blijven hangen).
3. Buizen afgewerkt onder maaiveld (in een straatpot) of buizen die boven het maaiveld uitsteken.
4. Grondwaterstanden waarbij geen 'omdraaifout' kan worden gemaakt (bijvoorbeeld 55 cm) en grondwaterstanden waarbij dit wel kan (bijvoorbeeld 57 cm).

In een veldje bij het Boetelerveld plaatsten we zestien waterdichte buizen, met daarin waterniveaus die wij nauwkeurig instelden door volumina water af te wegen. Figuur 2.2 geeft een overzicht van de opstelling in het veld en bijlage 1 geeft een overzicht van alle zestien locaties. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de kenmerken van de meetpunten. De peilbuizen waren aan de onderkant waterdicht afgesloten met een dop. De standen zijn door ons voor en na de proef gemeten om een eventuele daling door verliezen tijdens het experiment te kunnen meten. Vervolgens zijn de grondwaterstanden gemeten door zestien verschillende waarnemers (Figuur 2.2), en dit leverde een totaal van 256 waarnemingen op.

Tabel 2.1

Kenmerken van de meetpunten.

Buis	Instrument	Bovenkant buis boven of onder maaiveld	Omdraaifout mogelijk	Verbindingsnaad boven wateroppervlak
1	Elektronisch	Boven	Ja	Nee
2	Klokje	Boven	Ja	Nee
3	Elektronisch	Onder	Ja	Nee
4	Klokje	Onder	Ja	Nee
5	Elektronisch	Boven	Nee	Nee
6	Klokje	Boven	Nee	Nee
7	Elektronisch	Onder	Nee	Nee
8	Klokje	Onder	Nee	Nee
9	Elektronisch	Boven	Ja	Ja
10	Klokje	Boven	Ja	Ja
11	Elektronisch	Onder	Ja	Ja
12	Klokje	Onder	Ja	Ja
13	Elektronisch	Boven	Nee	Ja
14	Klokje	Boven	Nee	Ja
15	Elektronisch	Onder	Nee	Ja
16	Klokje	Onder	Nee	Ja



Figuur 2.2 Veldje met zestien buizen en uitvoering van de proef.

2.2.2 Uitvoering

De proef werd uitgevoerd op de vrijwilligersdag die Landschap Overijssel jaarlijks organiseert voor de vrijwilligers die iedere twee weken peilbuizen waarnemen in één van de terreinen van Landschap Overijssel. Het zijn mensen met een wisselende ervaring (tussen één jaar en vijfentwintig jaar) die gewend zijn grondwaterstanden en stijghoogtes waar te nemen met een dompelklokje met een diameter van 17 mm.

Daarnaast zijn professionele meetnetbeheerders uitgenodigd om deel te nemen aan de proef. Zij werken met automatische drukopnemers en verzamelen ter controle bij het uitlezen handwaarnemingen van de grondwaterstand met elektronische peilapparaten. Van de zestien waarnemings-

formulieren zijn er zeven ingevuld door professionele meetnetbeheerders. Tabel 2.2 geeft enkele kenmerken van de waarnemers. De waarnemers kregen voorafgaand aan de proef een korte uitleg over het doel van de proef. Bovendien kregen ze instructies op papier (Bijlage 2). De waarnemers hebben individueel waarnemingen verricht. In twee gevallen hebben waarnemers samen één formulier ingevuld, omdat ze bij het waarnemen van peilbuizen ook als tweetal werken. De waarnemers is gevraagd om niet extra hun best te doen, maar waar te nemen zoals ze dat in het veld ook doen.

Tabel 2.2

Kenmerken van de waarnemers.

Waarnemer	Aantal jaren ervaring	Eigen instrument	Frequentie
1	10	Elektronisch peilapparaat met geluidssignaal	per kwartaal
2	27	Meetlint met dompelklokje	halfmaandelijks
3	1	Meetlint met dompelklokje	halfmaandelijks
4	6	Meetlint met dompelklokje	halfmaandelijks
5	28	Meetlint met dompelklokje	halfmaandelijks
6	>40	Meetlint met dompelklokje	halfmaandelijks
7	4	Meetlint met dompelklokje	halfmaandelijks
8 (tweetal)	11	Meetlint met dompelklokje	halfmaandelijks
9	6	Meetlint met dompelklokje	halfmaandelijks
10	2	Meetlint met dompelklokje	halfmaandelijks
11	40	Meetlint met dompelklokje	halfmaandelijks
12	16	Meetlint met dompelklokje, soms elektronisch peilapparaat met geluidssignaal	wekelijks
13	15	Elektronisch peilapparaat met geluidssignaal	halfmaandelijks
14	>10	Elektronisch peilapparaat met geluidssignaal	per kwartaal
15	40	Elektronisch peilapparaat met geluidssignaal	per half jaar
16	18	Meetlint met dompelklokje en elektronisch peilapparaat met geluidssignaal	wekelijks, en daarnaast metingen voor onderhoud van het meetnet en controle van de dataloggers

Om de waterstand na uitvoering van de proef nauwkeurig te kunnen meten is aan alle peilbuizen na uitvoering van de proef een kleine hoeveelheid zwarte kleurstof toegevoegd. Uit een laboratorium-experiment bleek dat een kleine hoeveelheid oplossing van wasbenzine en zwarte metaallak na verdamping van de wasbenzine een scherp randje op de buiswand achterliet. In het veld bleek dit echter niet altijd te werken, omdat bij een aantal buizen de wasbenzine niet volledig was verdampt en de lak niet volledig was ingedroogd. Bij zes van de zestien buizen slaagden we er in om de stand aan het eind van het experiment nauwkeurig vast te stellen. Deze bleek 2 tot 5 mm dieper te zijn dan aan het begin (gemiddeld 3 mm dieper). Daarom namen we een gemiddelde stand gedurende het experiment aan van 1.5 mm onder de beginstand. Figuur 2 geeft een voorbeeld van de rand die achterbleef in de buis na de metingen, op basis waarvan de eindstand nauwkeurig kon worden vastgesteld. Daarnaast is met handmatige metingen de begin- en eindstand gecontroleerd. Tabel 2.3 geeft een overzicht van de standen aan het begin en het eind van het experiment.



Figuur 2.3 Rand die achterblijft in buis na aanbrengen van een film van metaallak opgelost in wasbenzine.

Bij buis 6 bleek dat de bodemstop, die waterdicht zou moeten zijn, toch had gelekt. De metingen in deze buis hebben we buiten beschouwing gelaten. Ook de metingen in buis 8 hebben we buiten beschouwing gelaten, omdat de standen een verloop hadden van circa 3 cm en de beginstand bovendien niet overeenstemde met de theoretisch berekende stand. Bij één meetpunt, nr. 7, werd een zeer ondiepe waterstand ingesteld, die met het meetklokje niet bleek te kunnen worden gemeten. Het bleek dat bij deze buis het niveau gedurende het experiment daalde met 4 cm. Dit kan doordat de buis tijdens het meten overliep als gevolg van de ondiepe stand enerzijds en het volume van de klokjes en elektronische peilapparaten anderzijds. Omdat hierdoor geen nauwkeurige stand tijdens het experiment bekend was zijn de metingen voor meetpunt nr. 7 bij de verwerking buiten beschouwing gelaten.

Tabel 2.3

Begin- en eindstanden in cm ten opzichte van bovenkant buis.

Buis	Theoretisch ingestelde stand (A)	Meting na met kleurstof (B)	Verschil (A-B)	Handmeting begin (C)	Handmeting eind (D)	Verschil (C-D)
1	71	71.2	0.2	71	71	0
2	172	-	-	172	172	0
3	138	-	-	138	138	0
4	29	29.4	0.2	29	29	0
5	77	-	-	77	77	0
6	88	98.2	10.2	88	97	9
7	8	-	-	6	12	6
8	55	-	-	51	54	3
9	118	-	-	118	118	0
10	129	-	-	128	129	1
11	151	151.5	0.5	151	151	0
12	162	162.3	0.3	162	162	0
13	111	111.3	0.3	111	111	0
14	155	155.2	0.2	155	156	0
15	144	-	-	144	144	0
16	166	-	-	166	166	0

2.3 Statistische verwerking

De waarnemingsfout d in buis i door waarnemer j is berekend als het verschil tussen de ingestelde stand h in de buis, na correctie van 1,5 mm voor verliezen tijdens het experiment, en de stand $\tilde{h}$ die door de waarnemer is genoteerd:

$$d_{ij} = h_{ij} - \tilde{h}_{ij}$$

De resultaten zijn verwerkt met het statistische programma Genstat, versie 15 (VSN International, 2012). Omdat bij drie peilbuizen (6, 7 en 8) de meetfout niet nauwkeurig kon worden vastgesteld, is de verwerking niet uitgevoerd als een factoriële 2^4 proef maar als een 2^3 proef (Oude Voshaar, 1994, hoofdstuk 3). Het effect van de volgende factoren op de waarnemingsfout is geanalyseerd: type meetinstrument, aanwezigheid verbindingsnaad boven wateroppervlak, en bovenkant buis boven of beneden maaiveld. Het effect van het omdraaien van cijfers bij het noteren (15 in plaats van 51 etc.) is dus niet geanalyseerd. Deze fout bleek overigens geen enkele keer te zijn gemaakt. De effecten zijn beschouwd als additief, interacties tussen de drie verschillende factoren zijn onwaarschijnlijk en buiten beschouwing gebleven. Omdat de proef niet gebalanceerd is, het aantal waarnemingen per behandeling is ongelijk, is de analyse uitgevoerd met het Genstat-directive AUNBALANCED, dat gebaseerd is op regressie.

3 Resultaten

3.1 Waarnemingen

Tabel B3.1 in Bijlage 3 bevat de standen zoals deze zijn geregistreerd door de zestien waarnemers. Uit de tabel blijkt dat waarnemer 11 geen waarneming heeft verricht in buis 7. De reden is dat deze ondiepe stand volgens waarnemer 11 niet met het elektronische peilapparaat was te meten.

Tabel B3.2 in bijlage 3 geeft de verschillen tussen de ingestelde standen in de buizen en de waargenomen standen. Buis 6, 7 en 8 zijn hierbij buiten beschouwing gelaten omdat bij deze buizen er een groot verloop van de stand gedurende het experiment was, zie paragraaf 2.2.2. De waarden in Tabel B3.2 vormen de basis voor de statistische analyses van de nauwkeurigheid van handgemeten grondwaterstanden.

3.2 Analyse van de meetfouten

Tabel 3.1 vat de meetfouten en de absolute waarnemingsfouten samen. De absolute fout geeft aan hoeveel je 'er naast zit', ongeacht of de waarneming hoger of lager is dan de werkelijke waarde.

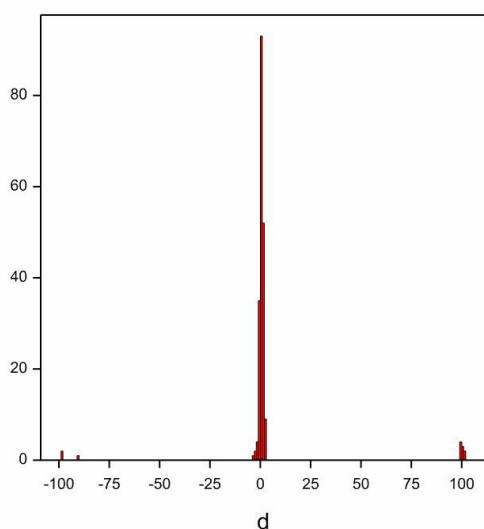
Tabel 3.1

Samenvatting van de meetfouten, in cm.

	Minimum	Eerste kwartiel	Mediaan	Derde kwartiel	Maximum
Fout	-98.9	0.1	0.15	1.15	101.15
Absolute fout	0.1	0.15	0.8	1.15	101.15

25% van de waarden zijn lager dan het eerste kwartiel, 50% zijn lager dan de mediaan en 75% zijn lager dan het derde kwartiel

Figuur 3.1 geeft een histogram van de waarnemingsfouten. Opvallend zijn de fouten rond 100 of -100 cm. Deze twaalf fouten zijn te verklaren als verkeerde aflezingen van het meetlint. Uit Tabel 2.1 en Tabel B3.2 blijkt dat deze afleesfouten zijn gemaakt bij de elektronische peilapparaten met geluidssignaal.

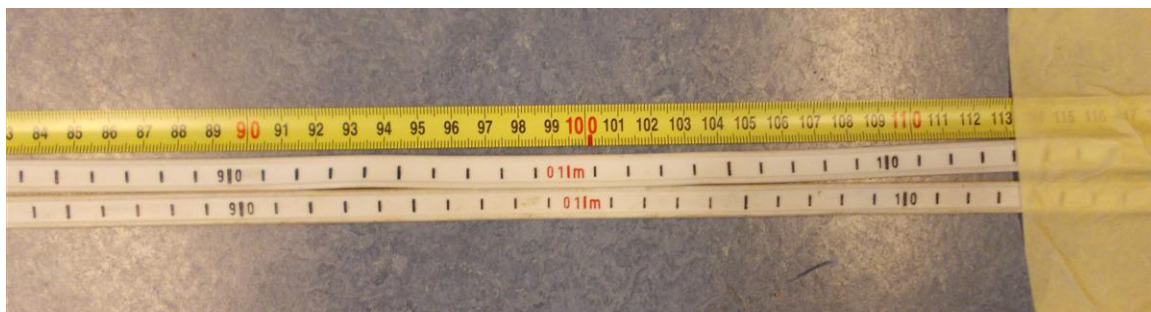


Figuur 3.1 Histogram van de waarnemingsfouten d in cm. $n=208$, de intervallen zijn één cm breed.

De effecten van de factoren 'type meetinstrument', 'aanwezigheid verbindingsnaad boven wateroppervlak', en 'bovenkant buis boven of beneden maaiveld' zijn onderzocht door middel van een variantieanalyse met het Genstat-directive AUNBALANCED. De variantieanalyse is erop gericht om te onderzoeken of bepaalde factoren van significante invloed zijn op de waarnemingsfout. Hierbij is een significantieniveau van 5% gehanteerd. Bijlage 4 geeft de resultaten van de variantieanalyses van de waarnemingsfouten en de absolute waarden van de waarnemingsfouten. Uit deze resultaten kan het volgende worden opgemaakt:

- Waarnemer 5 en waarnemer 10 maakten aantoonbaar grotere waarnemingsfouten dan de andere waarnemers. Uit Tabel B3.2 blijkt dat dit moet worden toegeschreven aan afleesfouten van rond de 100 cm: zowel waarnemer 5 als 10 maakten deze fout vier keer. Afleesfouten van circa 100 cm werden alleen gemaakt bij meetlinten van elektronische peilapparaten met geluidssignaal, zie Figuur 3.2. Beide waarnemers werken normaliter met een meetlint met dompelklokje. Uit Figuur 3.2 blijkt dat de meetlinten van de elektronische peilapparaten minder duidelijk zijn: de diepte in meters wordt niet herhaald bij de centimeterverdeling.
- De waarnemingsfouten die werden gemaakt bij elektronische peilapparaten waren aantoonbaar groter dan die bij meetlinten met klokjes. Dit is toe te schrijven aan de afleesfouten van rond de 100 cm, die kunnen worden verklaard uit de weergave van de centimeters op het meetlint, zie Figuur 3.2.
- Standen die werden gemeten in buizen die beneden maaiveld zijn afgewerkt met een straatpot zijn aantoonbaar te ondiep. In absolute zin verschillen de waarnemingsfouten voor buizen die boven of onder maaiveld zijn afgewerkt niet significant van elkaar. Uit een nadere beschouwing van de waarnemingsfouten blijkt dat het verschil in gemiddelde waarnemingsfout tussen buizen die boven of onder maaiveld zijn afgewerkt kan worden toegeschreven aan afleesfouten van rond de 100 cm, zie de samenvattingen van de waarnemingsfouten in Tabel 3.2.

Uit Tabel 2.2 en Tabel B3.2 blijkt dat de fout van circa 100 cm bij het aflezen van het meetlint van elektronische peilapparaten ook enkele malen wordt gemaakt door waarnemers die ervaring hebben met deze instrumenten.



Figuur 3.2 Het bovenste meetlint is bevestigd aan een dompelklokje, de onderste twee meetlinten aan elektronische peilapparaten met geluidssignaal.

Tabel 3.2

Samenvatting van de waarnemingsfouten in buizen die boven of onder maaiveld zijn afgewerkt in percentielwaarden (cm).

Afwerking	Minimum	Eerste kwartiel	Mediaan	Derde kwartiel	Maximum
Boven	-98.9	0.1	0.15	1.15	99.15
Onder	-3.85	0.15	0.175	1.15	101.15

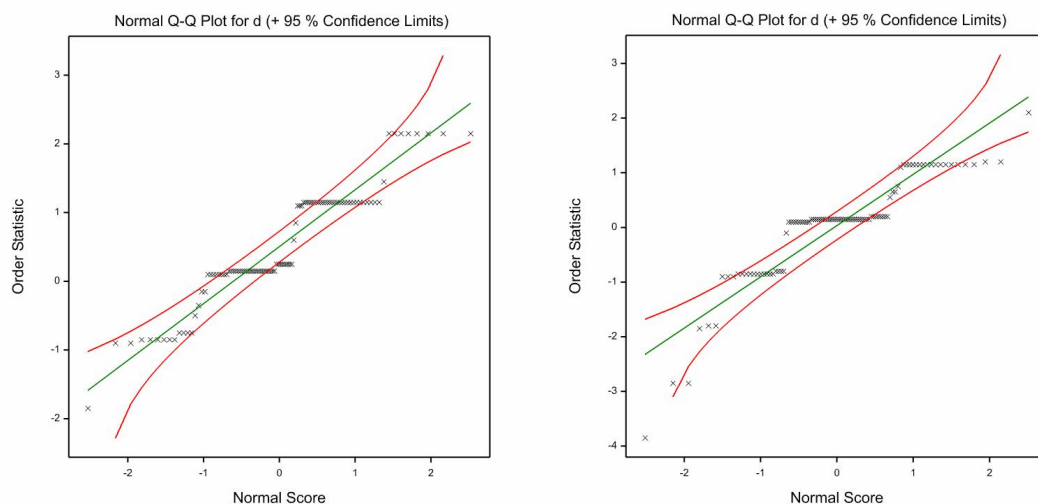
25% van de waarden zijn lager dan het eerste kwartiel, 50% zijn lager dan de mediaan en 75% zijn lager dan het derde kwartiel.

3.3 Kwantificering van de nauwkeurigheid

De nauwkeurigheid van metingen wordt vaak samengevat met een interval. In NEN-ISO 21413 (2005) wordt bijvoorbeeld geadviseerd een nauwkeurigheid van ± 1 cm aan te houden voor metingen met een dompelklokje aan een meetlint. Het is echter niet duidelijk wat het interval van ± 1 cm precies inhoudt, bijvoorbeeld een standaardfout of een 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Tabel 3.3 geeft voor meetlinten met een dompelklokje en voor elektronische peilapparaten met geluidssignaal de nauwkeurigheid aan zoals deze is afgeleid uit de resultaten van het veldexperiment. De afleesfouten van circa 100 cm, die in de vorige paragraaf aan de orde kwamen, zijn hierbij buiten beschouwing gebleven. We gaan ervan uit dat waarnemers die met elektronische peilapparaten werken inmiddels de moeilijkheden bij het aflezen van het meetlint hebben overwonnen.

Uit Tabel 3.3 blijkt dat de standaardafwijking van de meetfout tegen de 1 cm ligt: 0.84 cm en 0.95 cm voor respectievelijk metingen met een elektronisch peilapparaat en een dompelklokje. Uit de berekende percentielwaarden blijkt dat bij een elektronisch peilapparaat 95% van de meetfouten in het interval $[-0.90 \text{ cm}, 2.15 \text{ cm}]$ liggen. Dit komt goed overeen met het 95%-interval dat kan worden berekend wanneer een normale verdeling van meetfouten wordt verondersteld, namelijk $[-1.15 \text{ cm}, 2.15 \text{ cm}]$. Figuur 3.3 geeft zogeheten QQ-plots om te beoordelen of de verdeling van de fouten kan worden benaderd met een normale verdeling. Naarmate de waarnemingen verder van de rechte lijn verwijderd liggen stemt de verdeling minder overeen met een normale verdeling. Afgezien van het effect als gevolg van de afronding op hele centimeters die de meeste waarnemers toepasten, liggen de punten in de linker grafiek in Figuur 3.3 redelijk op een lijn. De verdeling van de fouten kan daarom eventueel worden benaderd met een normale verdeling met gemiddelde 0.5 en standaardafwijking 0.84. Beter is echter om uit te gaan van percentielwaarden: 95% van de meetwaarden ligt tussen - 0.90 en 2.15 cm.



Figuur 3.3 QQ-plot van de meetfouten met een elektronisch peilapparaat (links) en een dompelklokje (rechts). Afleesfouten van circa 100 cm zijn buiten beschouwing gelaten.

Bij een dompelklokje ligt 95% van de meetfouten in het interval $[-2.85 \text{ cm}, 1.2 \text{ cm}]$. Bij een dompelklokje worden relatief vaak te diepe standen gemeten. Een negatieve meetfout betekent immers dat een stand wordt gemeten die dieper is dan de werkelijke stand. Uit Tabel B3.2 blijkt dat de grootste negatieve fouten door één waarnemer zijn verricht (waarnemer 9). De punten in de rechter grafiek in Figuur 3.3 wijken af van de rechte lijn, niet alleen als gevolg van de afronding op centimeters maar ook als gevolg van de scheve verdeling van de meetfouten die met een dompelklokje worden gemaakt. Normaliteit kan hier niet worden verondersteld.

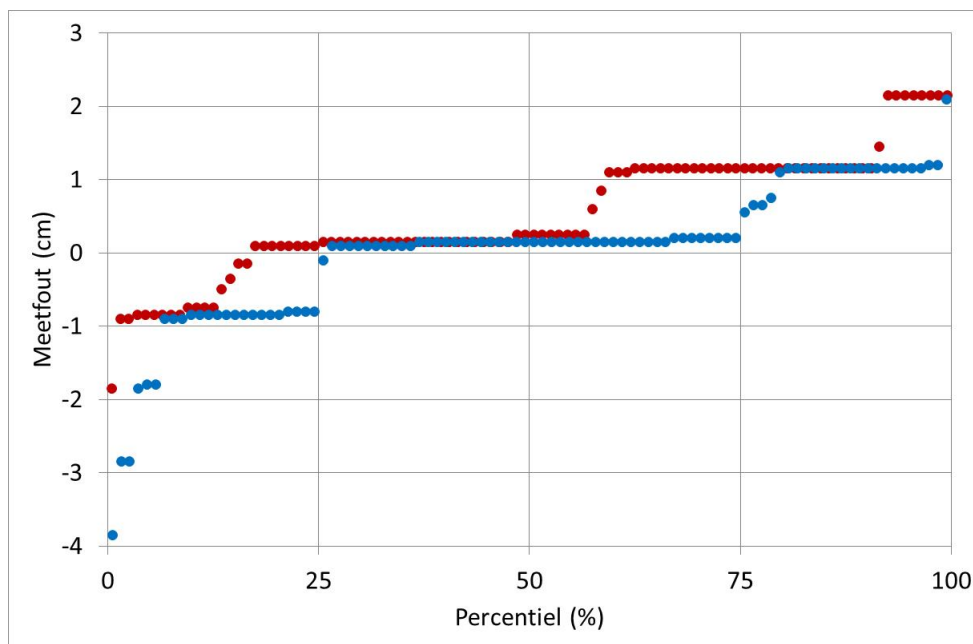
Figuur 3.4 geeft een quantile plot (Q-plot) van de meetfouten. Deze plot laat zien hoeveel procent van de meetfouten onder een bepaalde waarde ligt. Ook uit deze plot blijkt dat met dompelklokjes relatief vaak te diepe standen worden gemeten.

Tabel 3.3

Samenvatting van de meetfouten van elektronische peilapparaten met geluidssignaal en dompelklokjes. Waarden in cm.

statistiek	Type meetinstrument	
	Elektronisch peilapparaat	Dompelklokje
Gemiddelde meetfout	0.50	0.03
Standaardafwijking van de meetfout	0.84	0.95
Laagste meetfout	-1.85	-3.85
2.5 percentiel	-0.90	-2.85
Eerste kwartiel	0.125	-0.45
Mediane meetfout	0.25	0.15
Derde kwartiel	1.15	0.375
97.5 percentiel	2.15	1.2
Hoogste meetfout	2.15	2.1

25% van de waarden zijn lager dan het eerste kwartiel, 50% zijn lager dan de mediaan en 75% zijn lager dan het derde kwartiel.



Figuur 3.4 Q-plot van de meetfouten met een elektronisch peilapparaat (rood) en een dompelklokje (blauw). Afleesfouten van circa 100 cm zijn buiten beschouwing gelaten.

4 Conclusies en aanbevelingen

Het doel van dit onderzoek was om de fout die wordt gemaakt bij het handmatig meten van grondwaterstanden en stijghoogtes in buizen te kwantificeren. Bij het experiment dat hiervoor werd uitgevoerd werden diverse factoren geanalyseerd die de nauwkeurigheid waarmee grondwaterstanden worden waargenomen kunnen beïnvloeden. Op basis van de resultaten van de analyses trekken we de volgende conclusies:

1. 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.
2. Enkele waarnemers maakten relatief vaak de afleesfout van circa 100 cm. Beide waarnemers bleken niet ervaren te zijn met de elektronische peilapparaten. Omdat deze fout ook enkele malen werd gemaakt door waarnemers die ervaring hebben met deze instrumenten kan worden geconcludeerd dat grondwaterstanden en stijghoogtes die hiermee zijn waargenomen afleesfouten van circa 100 cm kunnen bevatten.
3. Als de afleesfouten van circa 100 cm buiten beschouwing worden gelaten, kan worden geconcludeerd dat met elektronische peilapparaten met geluidssignaal 95% van de waarnemingsfouten ligt tussen -0.9 en +2.15 cm, en de mediane fout 0.25 cm bedraagt. De verdeling van de fouten kan eventueel worden benaderd met een normale verdeling met een gemiddelde van 0.5 cm en een standaardafwijking van 0.84 cm.
4. Bij dompelklokjes ligt 95% van de waarnemingsfouten tussen -2.85 en +1.2 cm. De mediane fout bedraagt 0.15 cm. Met dompelklokjes wordt de grondwaterstand relatief vaak te diep gemeten.

Op basis van de resultaten van het experiment bevelen wij het volgende aan:

1. Elektronische peilapparaten met geluidssignaal moeten worden voorzien van duidelijke meetlinten die bij de centimeterverdeling ook de diepte in meters aangeven.
2. Het zou heel nuttig zijn om vaker tijdens bijeenkomsten van waarnemers van grondwaterstanden herhaalde waarnemingen van grondwaterstanden te verrichten, en de resultaten ervan terug te koppelen aan de waarnemers.

Literatuur

- Asmuth, J. von, 2010. Over de kwaliteit, frequentie en validatie van druksensorreeksen. KWR Rapport nr. KWR 2010.001, KWR Watecycle Research Institute, Nieuwegein.
- Meij, Th. de en J. von Asmuth. 2011. Correctie van eigen luchtdrukmeting noodzakelijk. H2O 4: 29-32.
- NEN-ISO 21413. 2005. Metingen aan grondwater – Handmatig meten van het grondwaterpeil in putten. Hydrometrie, Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.
- Oude Voshaar, J.H., 1994. Statistiek voor onderzoekers. Met voorbeelden uit de landbouw- en milieuwetenschappen. Wageningen Pers.
- 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. Kotters, H.T.L. Massop en H.R.J. Vroon. 2012. Meten en interpreteren van grondwaterstanden. Analyse van methodieken en nauwkeurigheid. Rapport 2345, Alterra, Wageningen.
- Visser, W.C., 1958. De landbouwwaterhuishouding van Nederland. Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland-TNO, rapportnr. 1.
- VSN International, 2012. GenStat Reference Manual (Release 15), Part 1 Summary. VSN International, Hemel Hempstead, UK.

Bijlage 1 Foto's van de meetpunten



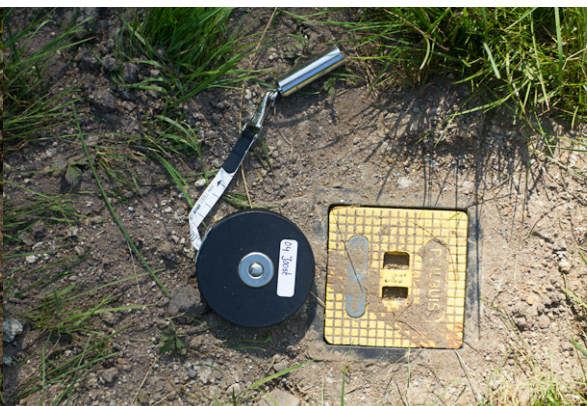
Meetpunt 01



Meetpunt 02



Meetpunt 03



Meetpunt 04



Meetpunt 05



Meetpunt 06



Meetpunt 07



Meetpunt 08



Meetpunt 09

Meetpunt 10



Meetpunt 11

Meetpunt 12



Meetpunt 13

Meetpunt 14



Meetpunt 15

Meetpunt 16

1 Veldinstructie veldproef grondwaterstanden

1.1 Proefopstelling

Op de proeflocatie zijn 16 buizen geplaatst, genummerd 1 t/m 16. De buizen zijn op verschillende manieren geplaatst en er zijn twee soorten klokjes, omdat we verschillende factoren die van invloed kunnen zijn op de meetfout willen onderzoeken. De buizen hebben geen filter, en zijn door ons gedeeltelijk gevuld met water, waarbij wij nauwkeurig de stand hebben ingesteld. Bij elke buis vindt u een peilklokje.

1.2 Wat vragen wij van u?

Wij vragen u het volgende te doen:

1. Meet met het klokje dat bij de buis ligt de stand van het water in de buis ten opzichte van bovenkant buis. U hoeft niet extra uw best te doen of juist minder, het voldoet als u gewoon meet u gewend bent dat te doen.
2. Let er op dat er zo min mogelijk water uit de buis verdwijnt (door druppels aan het klokje bijvoorbeeld).
3. Noteer de stand op dit formulier, bij het nummer van de buis.
Als u gewend bent grondwaterstanden te noteren in centimeters, doet u dat nu ook, bijvoorbeeld: 58.
Als u gewend bent in millimeters te meten, doet u dat nu ook. U geeft de millimeters aan achter de komma, bijvoorbeeld: 58,3.
4. Lever het volledig ingevulde formulier bij ons in.

De metingen zijn anoniem, u hoeft niet uw naam te vermelden. Wel vragen wij u aan te geven hoe vaak, hoe lang en op welke wijze u de grondwaterstand meet.

U kunt uw meetgegevens invullen op de achterzijde van dit formulier.

Buisnummer	Gemeten waterstand
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	

Met welke frequentie meet u gewoonlijk grondwaterstanden?					
(omcirkelen wat van toepassing is)					
dagelijks	wekelijks	halfmaandelijks (rond 14 en 28)	maandelijks	per kwartaal	anders, nl.

Waarmee meet u gewoonlijk de grondwaterstand? (omcirkelen wat van toepassing is)			
meetlint met klokje Ø 17 mm	meetlint met klokje Ø 25 mm	meetlint met geluidssignaal	anders, nl.

Hoeveel jaar ervaring heeft u met het meten van grondwaterstanden?

Hartelijk dank voor uw medewerking!

Bijlage 3 Waarnemingen

Tabel B3.1

Waarnemingen (cm – bovenkant buis) tijdens het veldexperiment Boetelerveld, 6 september 2013.

Buis	Waarnemer															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	70.5	70	170	71	71	71	71	71	71	70	71	70	72	71	71.6	72
2	171	171	171	173	171	172	172	172	175	172	172	171	173	172	171.6	172
3	137	137	137	136	37	138	137	137	140	37	137	137	137	137	137	137
4	28	30	31	30	29	29	31	29	30	28	29	29	29	29	29	30
5	75	75	75	75	77	76	76	75	76	77	76	75	75	176	75.7	76
6	94	93	96	93	94	94	95	95	98	94	94	93	95	95	95.4	96
7	9	13	15	10	7	14	9	9	12	12		10	11	11	11.0	11
8	51	53	52	53	54	53	57	53	53	54	54	53	54	53	52.8	53
9	118	118	118	119	19	118	209	118	119	19	119	118	118	119	118.5	118
10	128	129	128	130	128	129	130	129	130	129	129	129	130	129	128.5	129
11	151	151	151	151	51	151	152	151	152	52	152	151	151	152	151.4	151
12	161	162	162	162	162	162	163	161	165	163	163	162	163	162	161.5	162
13	110	110	110	110	110	111	111	110	110	110	110	110	110	110	110.3	110
14	154	155	153	155	155	155	156	155	156	155	155	155	156	155	155.2	155
15	144	144	144	144	45	144	144	144	145	44	145	144	144	144	144.3	44
16	165	165	165	167	165	165	168	166	170	166	166	166	165	166	165.4	166

Tabel B3.2

Verschillen tussen de ingestelde standen en de waarnemingen tijdens het veldexperiment Boetelerveld, 6 september 2013. De ingestelde standen (Tabel 2.2) zijn verlaagd met 1.5 mm om te corrigeren voor daling door verliezen tijdens het experiment.

Buis	Waarnemer															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0.6	1.1	-98.9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.1	0.1	1.1	-0.9	0.1	-0.5	-0.9
2	1.15	1.15	1.15	-0.85	1.15	0.15	0.15	0.15	-2.85	0.15	0.15	1.15	-0.85	0.15	0.55	0.15
3	1.15	1.15	1.15	2.15	101.15	0.15	1.15	1.15	-1.85	101.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
4	1.2	-0.8	-1.8	-0.8	0.2	0.2	-1.8	0.2	-0.8	1.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-0.8
5	2.15	2.15	2.15	2.15	0.15	1.15	1.15	2.15	1.15	0.15	1.15	2.15	2.15	-98.85	1.45	1.15
9	0.15	0.15	0.15	-0.85	99.15	0.15	-90.85	0.15	-0.85	99.15	-0.85	0.15	0.15	-0.85	-0.35	0.15
10	1.15	0.15	1.15	-0.85	1.15	0.15	-0.85	0.15	-0.85	0.15	0.15	0.15	-0.85	0.15	0.65	0.15
11	0.25	0.25	0.25	0.25	100.25	0.25	-0.75	0.25	-0.75	99.25	-0.75	0.25	0.25	-0.75	-0.15	0.25
12	1.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	-0.85	1.15	-2.85	-0.85	-0.85	0.15	-0.85	0.15	0.65	0.15
13	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	0.15	0.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	0.85	1.15
14	1.1	0.1	2.1	0.1	0.1	0.1	-0.9	0.1	-0.9	0.1	0.1	0.1	-0.9	0.1	-0.1	0.1
15	0.15	0.15	0.15	0.15	99.15	0.15	0.15	0.15	-0.85	100.15	-0.85	0.15	0.15	0.15	-0.15	100.15
16	1.15	1.15	1.15	-0.85	1.15	1.15	-1.85	0.15	-3.85	0.15	0.15	0.15	1.15	0.15	0.75	0.15

Bijlage 4 Resultaten variantieanalyse

Toelichting

instr = type meetinstrument: E = elektronisch peilapparaat met geluidssignaal, K = meetlint met klokje

buis = buis met of zonder verbindingsnaad boven het wateroppervlak: dubbel = verbindingsnaad boven het wateroppervlak, enkel = geen verbindingsnaad boven het wateroppervlak

afw = bovenkant buis boven of onder maaiveld: boven = bovenkant buis bevindt zich boven maaiveld, onder = bovenkant buis bevindt zich onder maaiveld, afgewerkt met een straatpot.

Resultaten voor variantie van waarnemingsfouten

Analysis of an unbalanced design using GenStat regression

Variate: d

Accumulated analysis of variance

Change	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
+ waarnemer	15	25889.1	1725.9	3.90	<.001
+ instr	1	1781.8	1781.8	4.02	0.046
+ buis	1	1199.8	1199.8	2.71	0.101
+ afw	1	3176.7	3176.7	7.17	0.008
Residual	189	83733.0	443.0		
Total	207	115780.6	559.3		

Predictions from regression model

Response variate: d

Prediction	
waarnemer	
1	0.962
2	0.615
3	-6.923
4	0.154
5	31.154
6	0.308
7	-7.308
8	0.538
9	-1.077
10	31.000
11	0.077
12	0.615
13	0.154
14	-7.462
15	0.385
16	7.923

Standard error of differences between predicted means	8.256
Least significant difference (at 5.0%) for predicted means	16.29

Predictions from regression model

Response variate: d

	Prediction
instr	
E	6.350
K	-0.487

Standard error of differences between predicted means	2.947
Least significant difference (at 5.0%) for predicted means	5.814

Predictions from regression model

Response variate: d

	Prediction
buis	
dubbel	4.818
enkel	0.597

Standard error of differences between predicted means	3.027
Least significant difference (at 5.0%) for predicted means	5.971

Predictions from regression model

Response variate: d

	Prediction
afw	
boven	-0.448
onder	7.444

Standard error of differences between predicted means	2.947
Least significant difference (at 5.0%) for predicted means	5.814

Analysis of an unbalanced design using GenStat regression

Variate: absd

Accumulated analysis of variance

Change	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
+ waarnemer	15	20252.6	1350.2	3.09	<.001
+ instr	1	5833.1	5833.1	13.36	<.001
+ buis	1	181.4	181.4	0.42	0.520
+ afw	1	638.8	638.8	1.46	0.228
Residual	189	82516.3	436.6		
Total	207	109422.1	528.6		

Predictions from regression model

Response variate: absd

Prediction	
waarnemer	
1	0.962
2	0.738
3	8.569
4	0.800
5	31.154
6	0.308
7	7.746
8	0.538
9	1.446
10	31.131
11	0.585
12	0.615
13	0.823
14	7.992
15	0.577
16	8.185

Standard error of differences between predicted means 8.196
Least significant difference (at 5.0%) for predicted means 16.17

Predictions from regression model

Response variate: absd

Prediction	
instr	
E	11.475
K	0.448

Standard error of differences between predicted means	2.926
Least significant difference (at 5.0%) for predicted means	5.772

Predictions from regression model

Response variate: absd

	Prediction
buis	
dubbel	7.000
enkel	5.403

Standard error of differences between predicted means	3.005
Least significant difference (at 5.0%) for predicted means	5.927

Predictions from regression model

Response variate: absd

	Prediction
afw	
boven	4.752
onder	8.291

Standard error of differences between predicted means	2.926
Least significant difference (at 5.0%) for predicted means	5.772

Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2476
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

Alterra-rapport 2476
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.

