

Kwaliteitsborging grondwaterstands- en stijgheghegegevens

Op weg naar een landelijke standaard

KWR 2013.027
April 2013

TNO innovation
for life

KWR

Watercycle Research Institute



Watercycle Research Institute



Kwaliteitsborging grondwaterstands- en stijghoogtegegevens

Op weg naar een landelijke standaard

KWR 2013.027
April 2013

© 2013 KWR, TNO

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Colofon

Titel

Kwaliteitsborging grondwaterstands- en stijghoogtegegevens: op weg naar een landelijke standaard

Opdrachtnummer

A309329

Rapportnummer

KWR 2013.027

Projectmanager

M. de Haan

Opdrachtgevers

Gezamenlijke provincies, onder regie van:

- Provincie Gelderland, de heer H. Kempen
- Provincie Utrecht, de heer J. van Gelderen
- Provincie Zuid-Holland, de heer J. Meijles
- Waterschap Rijn en IJssel, de heer G. van den Houten
- Waterleidingbedrijf Vitens, de heer A. Oosterhof

Begeleidingsgroep

Zie bijlage B

Kwaliteitsborging

C. Maas

Auteurs

J.R. von Asmuth, F.C. van Geer

Dit rapport is verstrekt aan de opdrachtgevers van het onderzoeksproject, en is openbaar.

Leeswijzer

Het onderhavige rapport is een product van fase 1a van een project waarin een systeem van kwaliteitsborging van stijghoogtegegevens ontwikkeld zal worden. Meer informatie over de opzet, doelen en beoogde fasering van het project als geheel is te vinden in (Van Geer en Von Asmuth, 2012). Het te ontwikkelen kwaliteitsborgingsysteem is bedoeld ter ondersteuning van de gegevensbeheerder of bronhouder, opdat deze snel een selectie kan maken van stijghoogtemetingen die afwijkend en dus potentieel fout zijn. Het is daarnaast bedoeld voor de eindgebruiker, opdat deze een sneller en beter inzicht krijgt in de kwaliteit van de gegevens. Omdat grondwatermonitoring in toenemende mate met (druk)sensoren gebeurt, dient ook de controle en herijking van sensorgegevens zoveel mogelijk geautomatiseerd te verlopen. De combinatie van toetsresultaten zal naar verwachting aanwijzingen kunnen geven over de reden van een afwijkende waarde. Het beoogde systeem zal al met al zorgen voor een verbetering van de monitoringspraktijk en de kwaliteit van de daaruit voortvloeiende gegevens, om de volgende redenen:

- door automatische selectie van afwijkende waarnemingen treedt een besparing op van de arbeidstijd;
- automatisering geeft een objectieve basis en uniformiteit aan de kwaliteitsborging; bij invoering op landelijke schaal maakt dit de kwaliteitslabels onderling vergelijkbaar;
- automatisering geeft mogelijkheden (toetsing van verschillende reeksen in samenhang, inclusief de reactie op externe factoren) die voor mensen niet of nauwelijks mogelijk zijn of in ieder geval aanzienlijk meer tijd in beslag zouden nemen;
- het beoogde systeem geeft eindgebruikers informatie omtrent de betrouwbaarheid van de stijghoogtereeksen.

Dit rapport bevat een inventarisatie van mogelijke toetsen voor het detecteren van afwijkende gegevens en een toelichting daarvan, als onderbouwing van de opties voor de vervolgfases van dit project. Kwaliteitsborging en -verbetering zijn daarnaast geen nieuw fenomeen, en niet beperkt tot het controleren en toetsen van gegevensstromen. Om het project af te kunnen bakenen en in breder perspectief te kunnen zien komen ook verschillende aspecten die een relatie hebben met datakwaliteit hier aan de orde.

De indeling van het rapport is als volgt. Hoofdstuk 1 bevat allereerst een inleiding op de materie. In hoofdstuk 2 wordt een beschouwing gegeven over de oorzaken en eigenschappen van meetfouten. Daarna geven we in hoofdstuk 3 een overzicht van statistische toetsen die in aanmerking komen om inconsistente of afwijkende gegevens op te sporen. De toetsen kunnen alleen worden uitgevoerd als bekend is wat het 'normale' patroon of regiem is. Het bepalen van het normale patroon is voor stijghoogtereeksen geen triviale zaak en wordt in paragraaf 3.4 behandeld. Hoofdstuk 4 is gewijd aan de specifieke fouten en afwijkingen die bij automatische sensoren optreden, en de manier waarop die gemonitord en geautomatiseerd gecontroleerd en gecorrigeerd kunnen worden. In feite vindt op die manier periodieke herijking van het meetinstrument plaats. In Hoofdstuk 5 is de relatie geschetst met andere initiatieven en met het beleid. Hoofdstuk 6 plaats kwaliteitsborging tenslotte in breder perspectief, behandelt de relatie met beleid en andere initiatieven, en geeft een globale schets van het beoogde softwaresysteem de gebruik daarvan in de meetpraktijk.

Waar het gaat om kwaliteitsborging en validatie wordt op verschillende plaatsen en door verschillende personen een verschillende terminologie gehanteerd. We hebben in dit rapport daar keuzes in gemaakt, op ad hoc basis en zonder dat verder te onderbouwen. De gebruikte terminologie zou eventueel beter onderbouwd en verder gestandaardiseerd kunnen worden in volgende fasen van dit project. Dit project heeft bovendien een duidelijke parallel met de kwaliteitsborging van grondwaterkwaliteitsgegevens binnen DINO (zie Van der Meij en Van der Meer, 2010). De kwaliteitsborging hier richt zich op wat daar QC3 ofwel Quality Control stap 3, genoemd wordt, en niet op QC1 en QC2, ofwel borging van het aanleverformat en opslag- en beheer van de data.

Inhoud

Leeswijzer	2
Inhoud	4
1 Inleiding	6
1.1 Aanleiding en achtergrond	6
1.2 Projectfasering en organisatie	7
1.3 Doelstelling van het project	7
2 Fouten: oorzaken en eigenschappen	10
2.1 Inleiding	10
2.2 Oorzaken van fouten	10
2.3 Fouten in data	11
2.4 Fouten in metadata	11
2.5 Relevantie van fouten	11
3 Toetsing: consistentie, plausibiliteit en normaalperiode	14
3.1 Inleiding	14
3.2 Consistentie	14
3.2.1 Interne consistentie en beperkingen meetopstelling	14
3.2.2 Inconsistenties tussen databases	15
3.3 Plausibiliteit	15
3.3.1 Algemene werkwijze	15
3.3.2 Waardenbereik	16
3.3.3 Regiemcurve	16
3.3.4 Opeenvolgende metingen	17
3.3.5 Tijdreeksmodel zonder externe input	17
3.3.6 Tijdreeksmodel met externe input	17
3.3.7 Meerdere stijghoogtereeksen	18
3.3.8 Tijdreeksmodel met stijghoogtereeks(en) als input	18
3.3.9 Simultane tijdreeksmodellering	19
3.3.10 Ruimtelijk patroon	19
3.4 Normaalperiode en -karakteristieken	20
3.4.1 Problematiek	20
3.4.2 Vaststellen van de periode	20
4 Sensoren: monitoring en validatie op hoger (meta)niveau	22
4.1 Ander proces, andere fouten	22
4.2 Toename gegevens en complexiteit	23
4.3 Metamonitoring	23
4.4 Metavalidatie	24

4.5	Toetsing en herijking	25
5	Relatie met andere initiatieven en beleid	28
5.1.1	Andere initiatieven en projecten	28
5.1.2	De Kaderrichtlijn Water (Water Framework Directive)	29
6	Kwaliteitsborging in breder perspectief	32
6.1	Voorkomen en beperken van fouten	32
6.1.1	Normering, certificering, keuring en accreditatie	32
6.1.2	Controle in het veld	32
6.1.3	Minimalisering van handmatige verwerkingsstappen	32
6.2	Hervalidatie van historische gegevens	32
6.3	Beoogd softwaresysteem (open en/of open source)	33
6.3.1	Globale opzet en afbakening	33
6.3.2	Gebruik in de meetpraktijk	34
	Bijlage A. Technische uitwerking van de toetsen	36
	A1. Globale waardenbereik.	36
	A2. Regiemcurve.	36
	A3. Verschilreeks	37
	A4. Univariante voorspelling	37
	A5. Voorspelling met externe input	38
	A6 Verschil stijghoogtereeksen (filterverwisselingen)	39
	A7 Responsfunctie stijghoogtereeksen	39
	A8. Simultane tijdreeksmodellering	39
	A9. Ruimtelijk patroon	39
	Bijlage B. Begeleidingsgroep	42
	Bijlage C. Voorbeelden van inconsistenties tussen databases	44
	Bijlage D. Literatuur	48

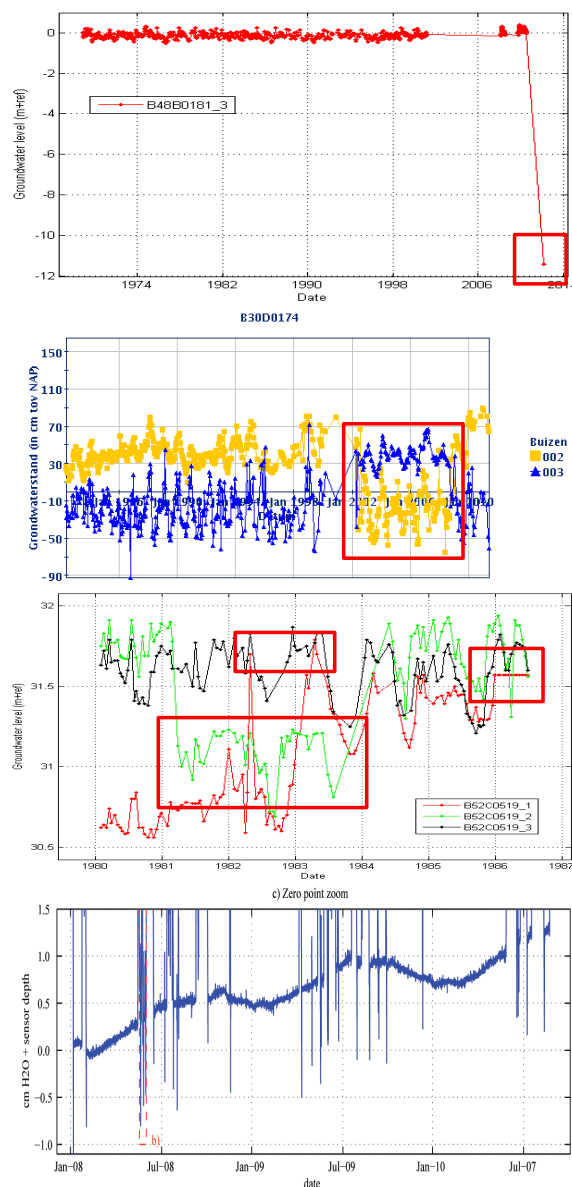
1 Inleiding

1.1 Aanleiding en achtergrond

Op vele duizenden locaties in Nederland wordt het verloop van de stijghoogte gemonitord, onder meer in het kader van de provinciale meetnetten, de Europese Kaderrichtlijn Water, vergunningverlening, en vele andere doelstellingen. In de vorige eeuw werd er vooral handmatig gemeten, meestal met een frequentie van 24 maal per jaar. De laatste tien tot vijftien jaar zijn veel meetpunten uitgerust met automatische drukopnemers. Tegelijkertijd is in veel gevallen de meetfrequentie hoger geworden. De monitoring van de stijghoogte leidt tot een continue datastroom van meetnetbeheerders naar de centrale databank DINO (Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond), en wanneer die in werking treedt, die van de Basis Registratie Ondergrond (BRO). Ook buiten DINO en de BRO vinden de metingen hun weg naar (lokale) databanken en informatiesystemen.

De ervaring van de afgelopen decennia leert dat er tal van fouten kunnen optreden in handwaarnemingen van de stijghoogte, zowel toevallige als systematische fouten (zie Figuur 1). Ook bij het meten met automatische drukopnemers kunnen verschillende typen fouten ontstaan. Voor zowel hand- als automatische metingen geldt dat de technische gegevens fout kunnen zijn, dat het meetfilter kan verstopen of dat er lekkage kan optreden. Bij handmetingen kunnen afleesfouten, (over)schrijfffouten, gebreken aan het meetlint en fouten door andere oorzaken optreden. Automatische drukopnemers kunnen foutieve waarnemingen produceren die verband houden met drift, temperatuurafwijkingen, haperingen, luchtdrukcompensatie, tijdsregistratie, en de omrekening van druk naar stand.

Voor het gebruik van stijghoogtegegevens is een goede kwaliteit van de tijdreeksen van groot belang. In het ideale geval voldoen de metingen aan een tevoren gespecificeerde kwaliteitsnorm, waarbij de uitgevoerde toetsen en het resultaat in het informatiesysteem opvraagbaar zijn. Zeker in situaties waarbij metingen van verschillende meetnetbeheerders in combinatie worden gebruikt (bv. provinciegrens overschrijdende grondwatermodellen) is het van belang dat het kwaliteitssysteem gestandaardiseerd is. Mede gezien de toename van het aantal metingen is het ondoenlijk om de kwaliteit daarvan volledig handmatig te controleren. Daarnaast is handmatige controle en correctie in hogere mate subjectief, minder goed te standaardiseren en een mogelijke bron van fouten op zich. Daarom is het gewenst om een validatie- en kwaliteitsborgingsysteem te ontwikkelen dat zoveel mogelijk gebruik



Figuur 1: Voorbeelden van fouten in stijghoogtereeksen. a) losse uitbijter, b) filterverwisseling, c) combinatie van fouten in de stijghoogte op drie dieptes, d) druksensorreeks met regelmatige droogval en zichtbare drift, temperatuurafwijking en hysteresis (Post & Von Asmuth, in print).

maakt van geautomatiseerde methoden en toetsen. Er bestaat een groot aantal mogelijke toetsen; van toetsen op eenvoudige (statistische) kenmerken tot toetsen die gebruik maken van geavanceerde tijdreeksanalyse. Echter, tot op heden is er geen integraal, operationeel systeem van kwaliteitsborging dat hiervoor een standaard biedt en verregaand geautomatiseerd werkt. Dit terwijl een van de vereisten van de Kaderrichtlijn Water is dat de aangeleverde gegevens gevalideerd en betrouwbaar zijn (zie ook paragraaf 5.1.2).

1.2 Projectfasering en organisatie

De hierboven behandelde problematiek heeft KWR en TNO tot het gezamenlijke initiatief gebracht om een validatie- en kwaliteitsborgingsysteem te gaan ontwikkelen, in samenwerking met en gefinancierd door de gezamenlijke provincies. Meer informatie over de opzet, doelen en beoogde fasering van dat project is te vinden in (Van Geer en Von Asmuth, 2012). Deze rapportage vormt de weerslag van fase 1a van dat initiatief of project, en is tevens bedoeld als input voor de begeleidingsgroep die zal adviseren over de inhoud en aanpak van fase 1b (en verder). De beoogde fasering voor het gehele project is als volgt:

- Fase 1a – Formering begeleidingsgroep, uitwerking theorie en verkenning vervolgfases
 - Beslismoment
- Fase 1b – Uitwerking en test van de geselecteerde toetsen en kalibratiemethoden
 - Beslismoment
- Fase 2 – Uitwerking gebruik in de meetpraktijk (labels, opvolging en operationele inbedding)
 - Beslismoment
- Fase 3 – Realisatie softwaresysteem, incl. richtlijnen voor het gebruik

Fase 1b is daarbij op dit moment logischerwijze het meest scherp in beeld, de fasen daarna dienen verder ingevuld te worden na afloop daarvan. Het project wordt uitgevoerd onder regie van een stuurgroep waar de volgende personen vanuit verschillende sectoren zitting in hebben:

- | | |
|-----------------------|------------------------------|
| - Henny Kempen | (Provincie Gelderland) |
| - Janco van Gelderen | (Provincie Utrecht) |
| - Jan Meijles | (Provincie Zuid-Holland) |
| - Gert van den Houten | (Waterschap Rijn en IJssel) |
| - Ate Oosterhof | (Waterleidingbedrijf Vitens) |

De begeleidingsgroep die rond het project is gevormd (zie bijlage B) heeft een adviserende rol. De uitvoering berust bij KWR en TNO gezamenlijk, in de personen van Jos von Asmuth en Frans van Geer, en daarnaast Martin de Haan (projectmanagement) en Kees Maas (kwaliteitsborging).

1.3 Doelstelling van het project

Doelstellingen van het project als geheel is het realiseren van een kwaliteitsborgingsysteem dat voldoet aan de vereisten die daarvoor gelden vanuit de Kaderrichtlijn Water (zie paragraaf 5.1.2). Deze doelstelling is op te splitsen in het:

- ontwikkelen van verschillende (statistische) toetsen waarmee de kwaliteit van grote hoeveelheden tijdreeksen kan worden gecontroleerd, gestandaardiseerd en gedocumenteerd;
- ontwikkelen van toetsen en methoden om de specifieke fouten en afwijkingen in drukopnemerreeksen te detecteren en zo nodig de gegevens te corrigeren c.q. het instrument te herijken;
- ontwikkelen van een softwarematig systeem waarmee bovengenoemde toetsen en methoden op stijghoogtereeksen geautomatiseerd kunnen worden uitgevoerd;
- opstellen van richtlijnen voor de inbedding van het systeem in het gegevensbeheer en communicatie daarvan met de gebruikers;
- het verhogen en borgen van de kwaliteit van grondwaterstands- en stijghoogtegegevens;
- het vergroten van de efficiëntie, de uniformiteit en de transparantie van het werkproces daarbij.

Bij het vorm te geven systeem is niet alleen van belang welke toetsen worden uitgevoerd en hoe de toetsresultaten met belanghebbenden worden gecommuniceerd. Ook zal vastgesteld moeten worden welke actie er volgt indien een onbetrouwbare meting wordt gedetecteerd. Voor het communiceren van de toetsresultaten voorzien we een systeem van labels (bijv. 'stoplichten'), dat snel inzichtelijk maakt wat de uitkomsten daarvan zijn. Indien er data is gecorrigeerd, dient de originele data opvraagbaar te blijven. Naast de aldus bereikte kwaliteitsborging en kwaliteitsverhoging zal het systeem naar verwachting ook tijdswinst opleveren voor de databeheerder. Bij een geautomatiseerd systeem dat afdoende functioneert, vervalt waarschijnlijk de noodzaak om gegevens die op geen enkele wijze afwijken van het verwachte patroon nog handmatig en/of visueel te beoordelen.

2 Fouten: oorzaken en eigenschappen

2.1 Inleiding

Voordat we over het detecteren van meetfouten kunnen spreken, moeten we eerst definiëren wat meetfouten precies zijn. Dat lijkt op het eerste gezicht triviaal. Een meetfout kan gedefinieerd worden als het verschil tussen de waarde die wordt afgelezen en opgeslagen in het bestand en de feitelijke stijghoogte in de ondergrond. Echter, een meting wordt geacht de stijghoogte te zijn in een bepaalde laag (diepte) op een bepaalde locatie en een bepaalde tijd. Als een meting in laag A wordt geïnterpreteerd als een meting in laag B is er sprake van een meetfout, ook al is de meting op zichzelf een correcte weergave van de stijghoogte in laag A.

Grondwaterstand

Vaak wordt verondersteld dat in een ondiep filter de grondwaterstand wordt gemeten. Dit is principieel niet juist. In een stijgbuis wordt alleen de waterhoogte (of -druk) gemeten. Onder bepaalde omstandigheden mag worden aangenomen dat de ondiepe stijghoogte overeenkomt met de grondwaterstand ter plekke. Echter, in het geval dat de weerstand naast en/of boven het filter niet verwaarloosbaar is, komt de gemeten stijghoogte niet of niet helemaal overeen met de grondwaterstand. Dit verschil wordt hier niet als meetfout gezien. (zie voor een discussie (Ritzema e.a., 2012)).

2.2 Oorzaken van fouten

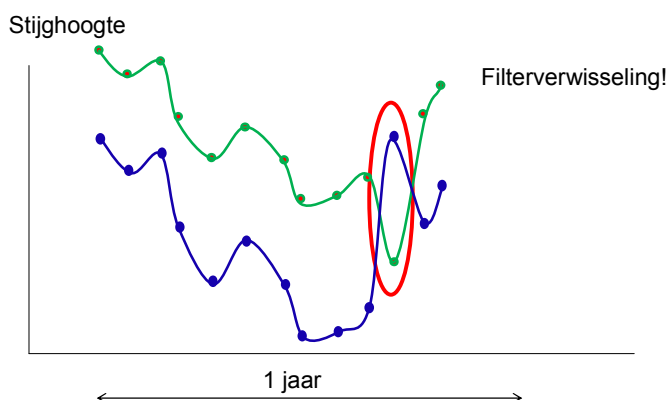
Voor wat betreft de oorzaak van fouten geldt (helaas) de bekende wet van Murphy: elke handeling of activiteit die fouten kan veroorzaken, zal fouten veroorzaken. Hoe minder (handmatige) handelingen, hoe kleiner dus de kans op fouten. Bij het aanleggen van de put en het meetfilter kunnen coördinaten of de diepte van het filter verkeerd zijn ingemeten en kan de maaivelds- of meetpuntshoogte verkeerd zijn gewaterpast. Ook bij het overbrengen van de data naar een database kan een fout optreden (intypen, overtypen, conversiefouten enz.). De boorbeschrijving kan fouten bevatten, waardoor het filter representatief geacht wordt voor een verkeerde laag. De afdichting tussen twee filters boven elkaar kan onvolledig zijn, waardoor een beïnvloeding ontstaat van andere watervoerende pakketten. Langere filters van bijvoorbeeld brandputten kunnen overigens ook doelbewust over meerdere watervoerende pakketten worden geïnstalleerd. In dat geval is er eigenlijk geen sprake van een fout, maar het is onduidelijk waarvoor de gemeten stijghoogte representatief is. De gebruikte apparatuur kan de oorzaak zijn van fouten, zoals bij een onzuiver meetlint of druksensor met afwijkingen en/of een verkeerde kalibratie. Bij het meetproces zelf kunnen afleesfouten optreden, gemeten waarden kunnen aan een verkeerd filter (foutieve putidentificatie, filter verwisseling) of een verkeerde datum worden gekoppeld. Met name bij diepere stijghoogtes kan de diepte verkeerd worden gemeten, bijvoorbeeld door torsie van meetkabels en -linten. Bij meting van de druk kunnen om verschillende redenen fouten optreden bij de omrekening naar waterkolom (zie Post en Von Asmuth, in print). Tenslotte kunnen op het traject van het meetinstrument naar de database of tussen databases fouten optreden als gevolg van bijvoorbeeld over- of intypen en/of dataconversie (zie ook bijlage C).

Bovenstaand overzicht pretendeert niet volledig te zijn, maar het geeft naar we hopen voldoende inzicht in het type fouten dat gemaakt kan worden. Afhankelijk van de oorzaak komen verschillende typen fouten op een verschillende manier tot uiting of vertonen verschillend gedrag (d.w.z. verschillende kansverdeling, standaarddeviatie, auto- en crosscorrelatie). Het specifieke gedrag van de verschillende fouten, in relatie tot het gedrag van de waargenomen variabele, biedt aanknopingspunten om deze fouten op te sporen en daarvoor te corrigeren. Een tijdelijke filterverwisseling is bijvoorbeeld optimaal op te sporen wanneer rekening gehouden wordt met het feit dat de fout in de ene reeks direct gerelateerd is aan die in de andere (zie Figuur 2). Bij de behandeling van fouten is het zinvol om onderscheid te maken tussen fouten in de 'technische' gegevens of metadata en fouten in de meetgegevens of data zelf. Daarnaast (en daarmee samenhangend) is er ook een onderscheid tussen toevallige (zonder auto- of crosscorrelatie) en systematische fouten (met auto- of crosscorrelatie).

2.3 Fouten in data

De data of meetgegevens zijn in ons geval de reeks metingen van de stijghoogte. Hierbij kunnen de fouten zowel optreden als geïsoleerde toevallige fouten in individuele waarnemingen als systematische fouten in een serie opeenvolgende waarnemingen. Systematische fouten treden op wanneer de meetapparatuur gedurende een bepaalde periode een systematische afwijking heeft (bijv. omdat de kabel van een druksensor verkeerd is gemeten of de tijd verkeerd is ingesteld). Ook kunnen

stijghoogtemetingen gedurende een bepaalde periode aan de verkeerde identificatie worden gekoppeld (filterverwisseling, in principe een fout in de metadata die doorwerkt in de data). De oorzaken van toevallige fouten kunnen heel divers zijn. Behalve 'gewone' aflees- en conversiefouten kunnen er allerlei bijzondere omstandigheden zijn die tot toevallige fouten leiden. Voorbeelden zijn het overlopen van een peilbuis, een stijghoogte onder het meetfilter, bevrozing, een handmeting vlak na het verwijderen van een drukopnemer, enz.).



Figuur 2: Filterverwisseling leidt tot fouten in de ene reeks die direct gerelateerd zijn aan die in de andere.

2.4 Fouten in metadata

Onder metadata of technische gegevens worden die gegevens verstaan die informatie geven over waar, waarmee en hoe de data of meetreeksen zelf verzameld zijn. Van direct belang voor de verwerking en interpretatie van de reeksen zijn bijvoorbeeld de put- en filteridentificatie, coördinaten, maaiveldhoogte, meetpunthoogte en filterlengte en -diepte. Naast de hiervoor genoemde gegevens kunnen ook de boorbeschrijving en/of de geohydrologische opbouw als metadata worden beschouwd. Die bepaalt in belangrijke mate voor welke laag de metingen representatief zijn. Ook informatie over de peilbuisconstructie en afwerking, en de specifieke informatie die bij drukopnemers hoort, zijn in principe metadata.

In het algemeen leiden fouten in de technische gegevens tot systematische fouten in de stijghoogtereeksen. In een kwelgebied zal bijvoorbeeld een te diepe filterstelling een systematisch hogere stijghoogte tot gevolg hebben. Dit soort systematische fouten zijn moeilijk via een individuele stijghoogtereeks zelf te detecteren. Ook al is een coördinaat 10 kilometer verkeerd, als er zorgvuldig gemeten wordt is de stijghoogtereeks intern wel consistent. Met andere woorden, er is aan de reeks zelf niets te zien. Systematische fouten kunnen eigenlijk alleen worden gedetecteerd met behulp van andere metingen of variabelen (bijvoorbeeld stijghoogtereeksen van omliggende meetpunten, handmetingen ter controle), onder de voorwaarde dat de systematische fout groot genoeg is. Systematische fouten kunnen zich uiten doordat de gemeten stijghoogte systematisch afwijkt van het ruimtelijke patroon van de stijghoogte, of niet past bij de responskarakteristieken van de betreffende geologische formatie. Bodemdaling en andere veranderingen van de meetpunts- en maaiveldshoogte treden vaak geleidelijk op (behalve bij beschadiging van de meetbuis). Op het moment dat een nieuwe waterpassing beschikbaar is, is duidelijk hoe groot een correctie moet zijn, maar het zegt niet veel over hoe de daling (en dus de fouten) verlopen in de periode voorafgaand aan de nieuwe meting. Dit soort fouten is moeilijk objectief vast te stellen.

2.5 Relevantie van fouten

Op allerlei momenten in het meet- en verwerkingsproces kunnen er dus fouten gemaakt worden. Afhankelijk van waar de fout precies zit zal deze verschillend uitpakken in de meetgegevens, en verschillend gedrag of eigenschappen vertonen. Ook voor de relevantie en het gebruik van stijghoogtegegevens in de (hydrologische) praktijk geldt dat de ene fout de andere niet is. Voor de relevantie is het van belang of een fout toevallig (geen auto- en crosscorrelatie) of systematisch is (wel

auto- en/of crosscorrelatie). Daarnaast is voor relevantie het doel van de gegevens van belang, dan wel het gebruik daarvan in een specifiek geval, en de gewenste nauwkeurigheid daarbij.

De relevantie van toevallige of random fouten is in het algemeen kleiner dan de relevantie van systematische afwijkingen (met eenzelfde grootte). Bij een toevallige fout zal de waargenomen stijghoogte de ene keer hoger, de andere lager uitvallen dan de stijghoogte in werkelijkheid. Bij toepassingen in hydrologische modellen of tijdreeksanalyses hebben dergelijke fouten (gemiddeld) geen invloed op de resultaten, of geschatte geohydrologische parameters en effecten. Bij toepassing in statistieken zoals GxG's worden random fouten (grotendeels) weggefilterd door de middeling die plaatsvindt (zie bijv. (Ziemer e.a., 1998)). Alleen op de duurlijn of frequentieverdeling (die over de hele meetperiode) en bij het berekenen van statistieken zoals standaardafwijking, correlatie en variogram, zullen toevallige fouten effect sorteren.

Systematische afwijkingen zijn relevant voor de praktijk omdat deze niet worden weggefilterd door middeling. Ze kunnen direct interfereren met het gebruik van stijghoogtereeksen en hebben effect op de conclusies die eruit getrokken worden. Een veel voorkomende beleidsvraag is de vraag of er stijgende of dalende trends in de stijghoogte zijn, en wat de oorzaak daarvan is (bijvoorbeeld in KRW-kader).. Naast trendmatige afwijkingen kunnen ook temperatuurafwijkingen relevant zijn omdat ze een cyclisch patroon vertonen en aldus de berekende GxG-waarden beïnvloeden. De grootte van de (systematische) fouten en afwijkingen van gangbare druksensoren overtreft in de meeste gevallen de specificaties die door de fabrikant worden opgegeven (Von Asmuth, 2011). In het geval de afwijkingen niet goed gemonitord en gecorrigeerd worden, kunnen de afwijkingen oplopen tot verschillende centimeters of decimeters waterkolom (of meer wanneer de drukopnemer faalt). Tijdreeks- en grondwatermodellen dienen aan de andere kant doorgaans effecten, trends en andere veranderingen te kunnen detecteren wanneer deze een grootte van 5 centimeter of meer hebben.

3 Toetsing: consistentie, plausibiliteit en normaalperiode

3.1 Inleiding

Technische gegevens zoals coördinaten en de meetpuntshoogte kunnen via een veldbezoek worden gecontroleerd. Wij beperken ons hier echter tot controles die uitgevoerd kunnen worden met behulp van de stijghoogtemetingen zoals die aan de database worden aangeboden, en historische stijghoogtereeksen die al in de database zijn opgeslagen. De teksten uit dit hoofdstuk zijn grotendeels gebaseerd op (Van Geer, 2012).

Een stijghoogtemeting kan getoetst worden op twee niveaus. Het eerste niveau is de toets of de waarde consistent is met of mogelijk is gezien de gegevens over de meetopstelling. De stijghoogte kan bijvoorbeeld niet worden gemeten wanneer die onder de onderkant van het meetfilter uitkomt, en bij automatische drukopnemers dient de meting niet buiten het meetbereik te vallen. De uitkomst van een consistentietoets laat geen ruimte voor interpretatie. Metingen zijn onderling consistent en dus mogelijk, of ze zijn het niet. Indien de metingen niet consistent zijn, kunnen ze worden gecorrigeerd. Als de oorzaak van de fout niet meer is te achterhalen, dient de waarneming niet te worden opgenomen in de operationele data bank (maar wel bewaard te worden).

Op het tweede niveau wordt de plausibiliteit of waarschijnlijkheid getoetst. Of een meting waarschijnlijk, onwaarschijnlijk of zeer onwaarschijnlijk is, berust gedeeltelijk op een (subjectieve) keuze. De actie die volgt op het toetsresultaat '(zeer) onwaarschijnlijk' is dan ook nooit het verwijderen van de meting. Als kan worden aangetoond dat de waarde inderdaad fout is, kan worden besloten om de meting te corrigeren. Indien dat niet kan, is het aan te bevelen om de meting wel van een duidelijk label te voorzien, zodat dit voor de gebruikers zichtbaar is. Ook in het geval dat een meting is gecorrigeerd dient dit zichtbaar te blijven. Het is belangrijk hier op te merken dat deze toetsen een hulpmiddel zijn voor de meetnetbeheerder, bij wie de (eind)verantwoordelijkheid voor de kwaliteit en beoordeling van de gegevens berust.

3.2 Consistentie

3.2.1 Interne consistentie en beperkingen meetopstelling

Toetsing of gegevens intern consistent en binnen de (fysische) beperkingen van de meetopstelling vallen is in principe een verplichting vanuit de KRW (zie paragraaf 5.1.2, WFD CIS Guidance Document No. 15). Dergelijke toetsen zijn daarbij ook relatief recht-toe-recht-aan, en zullen in veel databasesystemen al zijn geïmplementeerd. Een aantal wordt hier genoemd, maar de lijst is niet volledig en zal in de vervolgfase verder worden uitgewerkt:

- **Volledigheid:** Zijn alle voor de stijghoogtereeks relevante (meta)gegevens aangeleverd, zoals identificatie, datum, tijd, waarneming, waarnemer/waarnemende instantie, enz.?
- **Identificatie:** Bestaat de meetlocatie / identificatie al in de database, en is die gekoppeld aan een bekende waarnemer of waarnemende instantie?
- **Datum of tijd in de toekomst:** Spreekt voor zichzelf.
- **Waarneming niet consistent met metadata:** Dit betreft bijvoorbeeld waarnemingen onder de onderkant van het filter. Ook bij sensoren kunnen dit soort fouten optreden, bijvoorbeeld bij waarnemingen onder of gelijk aan het niveau van de druksensor. Als de stijghoogte onder de sensor daalt, is de waarneming gelijk aan de luchtdruk. Dit is niet altijd goed te zien, en dergelijke waarnemingen staan in databases dikwijls abusievelijk te boek als stijghoogtemetingen. Een test of een waarneming boven of gelijk is aan de bovenkant buis, hoort eigenlijk tot de plausibiliteitstesten. (Ook) in Nederland zijn peilbuizen te vinden met artesisch water ofwel een stijghoogte boven het meetpunt. Indien een peilbuis niet afgesloten is en overloopt, is de stijghoogtemeting echter niet betrouwbaar.

Specifieke punten bij (druk)sensormetingen:

- **Waarneming buiten kalibratiebereik:** Dit treedt alleen op bij automatische sensoren. Wanneer temperatuur of druk buiten het kalibratiebereik van de sensor vallen, valt de meetfout buiten de garanties en/of specificaties.
- **Tijdstip handwaarnemingen (ter validatie).** Handwaarnemingen die dienen ter validatie van druksensormetingen dienen plaats te vinden (vlak) voordat de drukopnemer uit de stijgbuis wordt gehaald.

3.2.2 Inconsistenties tussen databases

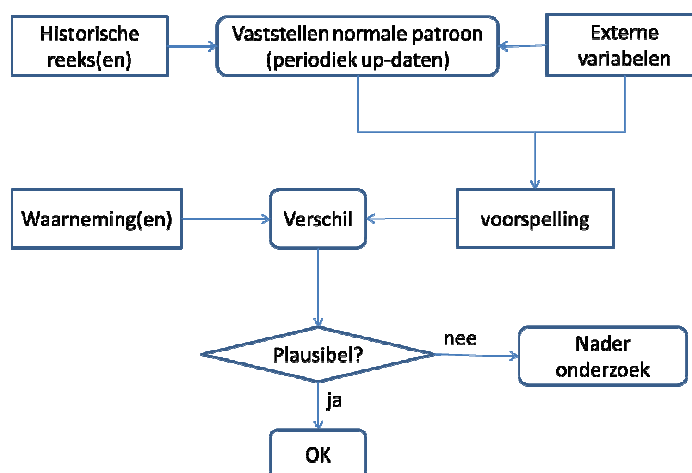
Naast inconsistenties in de data en metadata van een individuele peilbuis, kunnen er ook tussen verschillende datasets of databases onderling inconsistenties optreden. De oorzaak daarvan ligt naar verwachting veelal in foutieve handmatige administratieve verwerking van gegevens. De oplossing daarvoor moet niet gezocht worden in toetsing, maar in optimalisering van de automatisering of minimalisering van handmatige verwerkingsstappen (zie ook de paragrafen 6.1.3 en 6.3). Voorbeelden van dergelijke inconsistenties zijn te vinden in bijlage C, en de problematiek zal verder aan de orde moeten komen bij de hervalidatie van historische data (paragraaf 6.2).

3.3 Plausibiliteit

3.3.1 Algemene werkwijze

Met plausibiliteitstesten wordt vastgesteld of een (serie van) waarneming(en) in het normale patroon van een reeks past. In feite proberen we waarden te detecteren die afwijken van het normale patroon. Bij afwijkende waarden gaat het niet per definitie om fouten. Daarom kunnen we beter spreken van de mate van waarschijnlijkheid of plausibiliteit dan van fouten. Plausibiliteitstesten kennen de volgende stappen. Er moet een schatting of berekening worden gedaan van de:

- **normaalperiode en -karakteristieken.** Wat 'normaal' is, is enigszins arbitrair (zie ook paragraaf 3.4). Het patroon van de stijghoogte kan door de jaren heen aan verandering onderhevig zijn als gevolg van menselijk handelen en klimatologische veranderingen. Statistisch gezien geldt: hoe langer, hoe beter. Waar in de meteorologie standaard een normaalperiode van 30 jaar gehanteerd wordt (zie e.g. (Sluijter en Nellestijn, 2002)), is dit voor grondwater aan de lange kant en zal naar verwachting een periode tussen de 5 en 10 jaar doorgaans beter voldoen. Bij trage reeksen (Veluwe, Zuid Limburg en duinen) is dit wellicht onvoldoende, maar dat kan worden opgevangen door bij het testen gebruik te maken van de temporele correlatiestructuur.
- **verwachte stijghoogte.** Op basis van het normale patroon kan worden geschat in welke range de waarneming of de opeenvolging van waarnemingen kan liggen. Dit betekent in technische termen dat er naast de schatting van de verwachtingswaarde, ook een schatting van de kansverdeling moet worden gedaan.
- **kans op een waarneming gegeven de verwachting.** De verwachte stijghoogte ligt midden in de kansverdeling (preciezer: bij de maximale kansdichtheid). Als de waarneming verder dan een tevoren bepaalde waarde van het midden afwijkt, is de waarneming niet-plausibel. Voor een normale kansverdeling zou hiervoor bijvoorbeeld een



Figuur 3: Elementen van een plausibiliteitstest

verschil van drie of vier maal de standaardafwijking genomen kunnen worden. De grootte van het interval moet nog nader worden bepaald. Bij een klein interval, zullen veel metingen als niet-plausibel worden aangemerkt. Bij een normale verdeling en een interval van twee maal de standaardafwijking zal gemiddeld 5% van de waarnemingen als niet-plausibel worden aangemerkt. Bij 3 maal de standaardafwijking is dat 1%. Anderzijds blijven er bij een te ruim interval niet-plausibele waarnemingen in het bestand.

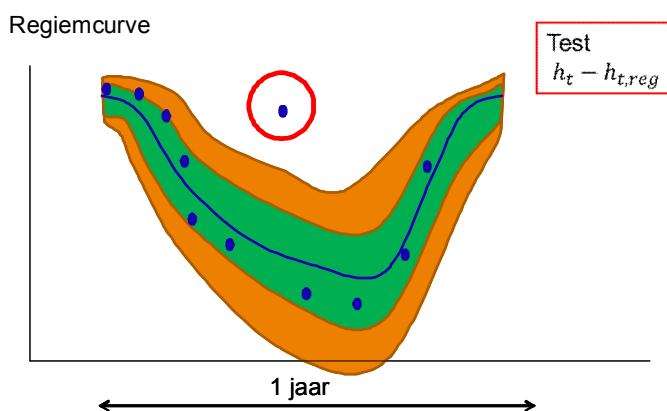
In Figuur 3 zijn de elementen van de werkwijze schematisch weergegeven. In de hierna volgende paragrafen worden mogelijke plausibiliteitstesten nader toegelicht. Daarbij is de opbouw van eenvoudig (eenvoudig te realiseren in standaard software) naar meer geavanceerd. Eerst wordt het bepalen van de statistische karakteristieken van de grondwaterdynamiek (zie bijv. ook (Van der Sluijs en De Gruijter, 1985; Knotters en Van Walsum, 1997; Von Asmuth en Knotters, 2004)) uit de normaalperiode behandeld. Vervolgens besteden we aandacht aan het berekenen van de verwachting en het testen. Tot slot volgt een korte beschouwing met betrekking tot de implementatie van de testen. De technische uitwerking van de toetsen is beschreven in bijlage A.

3.3.2 Waardenbereik

Meetreeksen van (stationaire) variabelen fluctueren rond een bepaald gemiddelde, en kennen daarbij een bepaalde verdeling en bereik van de waarde die ze aannemen. Een meetreeks van het ondiepe grondwater kan bijvoorbeeld normaliter een waardenbereik van 1.5 tot 2 meter onder maaiveld hebben. Als een waarneming buiten dit waardenbereik valt wordt hij aangemerkt als afwijkend. Met een willekeurig programma kan eenvoudig het gemiddelde en de standaardafwijking van een meetreeks over de geselecteerde meetperiode worden bepaald. Als het verschil tussen de waarneming op tijdstip t en het gemiddelde groter is dan een tevoren vastgestelde waarde, wordt de waarneming als afwijkend (=verdacht) aangemerkt. Hiervoor kan bijvoorbeeld plus of min drie maal de standaardafwijking worden gebruikt. Uitgaande van een normale verdeling zal dan één op de 100 waarnemingen als afwijkend worden aangemerkt. De verdeling van de stijghoogte zal echter niet in alle gevallen normaal of symmetrisch zijn. In dat geval dient het normaalbereik uit de frequentieverdeling van de meetwaarden afgeleid worden.

3.3.3 Regiemcurve

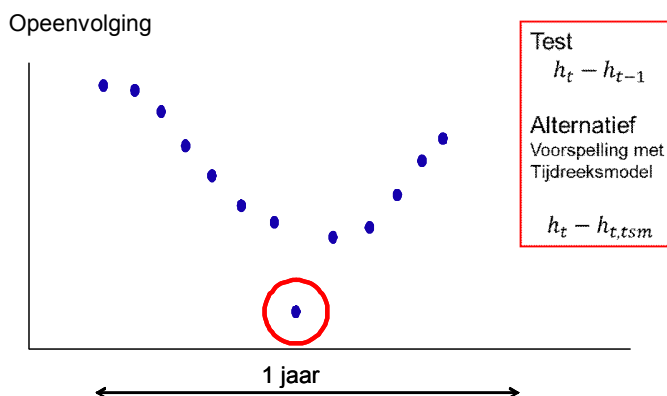
Voor veel stijghoogtereeksen (en zeker voor de ondiepe grondwaterstand) is het seizoensverloop een belangrijke karakteristiek. Een veel gebruikte methode om die te karakteriseren is de regiemcurve (zie Figuur 4). Dit is het gemiddelde van de waarnemingen van verschillende jaren op een bepaalde datum of tijdvak. Uit een eerdere studie (Van Geer, 2012) blijkt dat maandelijkse tijdvakken een goed beeld geven van het verloop, terwijl de berekende standaardafwijkingen minder last hebben van extremen dan bij 24 tijdvakken per jaar. De regiemcurve en de bijbehorende standaardafwijking worden berekend door eerst voor elk jaar de tijdvakgemiddelden te bepalen en deze vervolgens te middelen over de jaren. De standaardafwijking van de regiemcurve is kleiner per tijdvak dan die over de gehele reeks, en dus is het onderscheidend vermogen bij gebruik van de regiemcurve groter dan die van de toets onder 3.3.2. Daar staat tegenover dat voor de bepaling van de regiemcurve bij voorkeur een langere periode met waarnemingen beschikbaar moet zijn (zeg minimaal 5 jaar) dan bij het normaalgemiddelde. Bij meerdere waarnemingen binnen een tijdvak, bijvoorbeeld dagelijkse waarnemingen, moet er rekening mee worden gehouden dat de standaardafwijking van de regiemcurve niet gelijk is aan de standaardafwijking van de fluctuaties van individuele waarnemingen rond die regiemcurve.



Figuur 4: Principe van een plausibiliteitstoets op basis van de regiemcurve.

3.3.4 Opeenvolgende metingen

Bovenstaande karakteristieken zijn eenvoudig te bepalen, maar houden geen rekening met de samenhang of (auto)correlatie tussen opeenvolgende metingen in de tijd. Als een stijghoogte om welke reden dan ook op een bepaald moment hoog is, is de kans groot dat dat ook geldt voor de eerstvolgende waarneming. Een eenvoudige methode om hier rekening mee te houden is het berekenen van de verschillen tussen (equidistante) opeenvolgende waarnemingen (zie Figuur 5). Van deze verschilreeks kan vervolgens het gemiddelde en de standaardafwijking worden bepaald. De test kan dan bestaan uit het berekenen van het verschil tussen de nieuwe waarneming en de directe voorganger, en vervolgens toetsen of dat verschil ligt binnen het gekozen bereik (bv. ± 3 maal de standaardafwijking).



Figuur 5: Principe van een plausibiliteitstoets op basis van opeenvolgende metingen of een tijdreeksmodel zonder externe input.

3.3.5 Tijdreeksmodel zonder externe input

De samenhang tussen (meer dan één en niet-equidistante) opeenvolgende waarnemingen kan worden gekarakteriseerd met een autocorrelatiefunctie. Deze is echter moeilijk direct te gebruiken als plausibiliteitstoets. Bovendien wordt de autocorrelatie in veel gevallen gedomineerd door het seizoensverloop en bovendien leveren hoogfrequente reeksen vaak zeer hoge autocorrelatiecoëfficiënten op. Met een univariaat tijdreeksmodel (continu dan wel discreet) kan een verwachting voor de volgende waarde in een meetreeks gemaakt worden. Een tijdreeksmodel levert daarbij ook een standaardafwijking op van de fout die daarbij gemaakt wordt op. Een tijdreeksmodel kan ook rekening houden met het seizoensverloop. Met een tijdreeksmodel wordt een voorspelling gedaan voor een meettijdstip. Deze voorspelling wordt vergeleken met de waarneming, waarbij wordt getoetst of het verschil tussen voorspelling en waarneming binnen een bepaald interval ligt (bv. 3 maal de standaardafwijking). Een univariaat tijdreeksmodel geeft in principe de beste mogelijkheid voor kwaliteitsborging wanneer alleen gebruik gemaakt wordt van de reeks zelf. Een nadeel is dat er een model gemaakt moet worden. Een automatische procedure leidt niet gegarandeerd tot het 'beste' model, maar handmatige modellering is tot op zekere hoogte subjectief en vraagt bovendien veel tijd. Daarom zullen we waarschijnlijk toch kiezen voor een automatische procedure.

3.3.6 Tijdreeksmodel met externe input

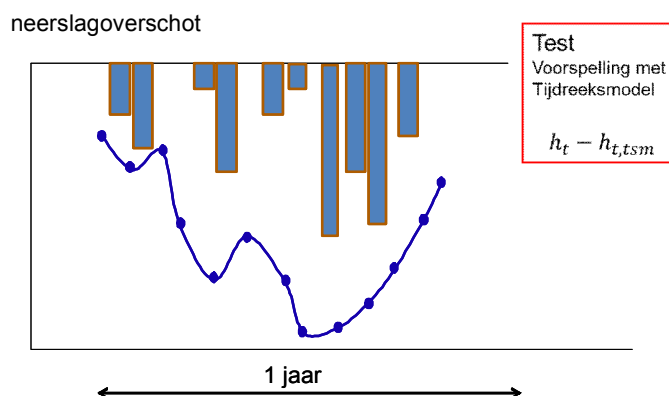
Neerslagoverschot

Stijghoogtevariaties worden door verschillende drijvende krachten veroorzaakt. Als we in staat zijn om de respons van de stijghoogtereeks op de drijvende krachten te bepalen, kan deze responsfunctie worden gebruikt voor het berekenen van de verwachting. Een belangrijke drijvende kracht is de variatie in het weer. Deze drijvende kracht kunnen we kwantificeren met het neerslagoverschot. Met een tijdreeksmodel met het neerslagoverschot als externe input wordt vervolgens weer een verwachting berekend van de waarde op één meettijdstip vooruit, inclusief een betrouwbaarheidsinterval. Het verschil tussen verwachting en meting kan dan weer worden getoetst. Een groot voordeel van het gebruik van meteogegevens is dat extremen in de stijghoogte die het gevolg zijn van weersvariaties daarbij niet als afwijkend zullen worden aangemerkt. Hiermee wordt het onderscheidend vermogen om fouten te detecteren groter.

Aandachtspunten:

- De responsfuncties zullen per reeks geautomatiseerd geschat moeten worden en als kenmerk bij de reeks opgeslagen. Hierbij gelden dezelfde nadelen als bij de univariate tijdreeksmodellen. Daarnaast zullen er ook (diepe) stijghoogtereeksen zijn die geen duidelijke respons op het neerslagoverschot laten zien. In een automatische procedure moet dit worden opgevangen.

- Periodiek (bv eens per jaar) moet de responsfunctie worden ge-update
- Recente meteodata van het KNMI dienen geautomatiseerd beschikbaar te zijn voor de update
- Eenmalig zal een koppeling gemaakt moeten worden tussen de stijghoogtereeks en een meteostation. Hiervoor dient een geautomatiseerde procedure te worden ontwikkeld.



Figuur 6: Principe van een plausibiliteitstoets op basis van een tijdreeksmodel met neerslagoverschot als externe input.

Andere inputreeksen

In principe is het mogelijk om naast of in plaats van het neerslagoverschot andere reeksen als verklarende variabelen te gebruiken. Dit kan nodig zijn voor stijghoogtemetingen in de nabijheid van onttrekkingen, of vlak bij oppervlaktewater. In deze gevallen is de inputreeks respectievelijk de onttrekking en het waterniveau in het oppervlaktewater. De voordelen zullen duidelijk zijn. Een aandachtspunt hierbij is dat we dan wel over de betreffende inputreeksen dienen te beschikken, die bovendien telkens ge-update moeten worden. Geleidelijke (bijv. achtergrondverdroging) of juist plotselinge veranderingen (bijv. maatregelen) kunnen als externe (stap)trends meegenomen bij tijdreeksanalyse.

3.3.7 Meerdere stijghoogtereeksen

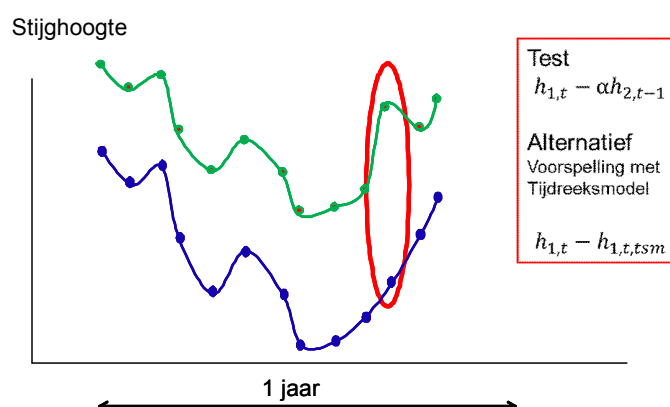
Niet zelden vertonen twee of meer tijdreeksen een overeenkomstig patroon. Dit geldt vaak voor filters die boven elkaar zijn gelegen. De meest eenvoudige methode om een verband tussen twee reeksen te gebruiken in een toets is het berekenen van verschilreeksen, waarbij de reeksen worden geschaald door ze te delen door hun standaardafwijking. Een aanname daarbij is dat beide reeksen op soortgelijke wijze reageren op externe inputs, zoals de weersvariatie. De verschilreeks tussen twee stijghoogtereeksen kan op dezelfde wijze getoetst worden als de verschillen tussen twee opeenvolgende tijdstappen (zie paragraaf 3.3.4).

Aandachtspunten:

- Welke punten met elkaar vergeleken moeten worden moet worden bepaald. Daarbij wordt vooral gedacht aan meetreeksen uit dezelfde waarnemingsput en meetreeksen die door dezelfde waarnemer worden waargenomen (i.v.m. filterverwisseling). Uiteraard kunnen ook meetreeksen worden vergeleken die om een andere reden een goed verband vertonen.
- Als een verschil als niet-plausibel wordt gekenmerkt, is niet duidelijk welke waarneming de afwijkende is. Ook kan het zijn dat beide waarnemingen fout zijn (bv. Filterverwisseling).

3.3.8 Tijdreeksmodel met stijghoogtereeks(en) als input

Een stijghoogtereeks kan ook worden gemodelleerd als respons op een andere stijghoogte reeks. Wiskundig is dit gelijk aan het voorspellen met externe input (zoals in paragraaf 3.3.6), alleen is de verklarende reeks een stijghoogte in plaats van het neerslagoverschot. Dit is het oude stambuisprincipe, waarbij een regressiemodel wordt gebruikt. Een regressiemodel kan worden



Figuur 7: Principe van een plausibiliteitstoets op basis van een tijdreeksmodel met een stijghoogtereeks(en) als externe input.

gezien als een bijzonder geval van een tijdreeksmodel. In veel gevallen vertoont de dynamiek van stijghoogtereeksen binnen één geohydrologische laag of eenheid een grote mate van overeenkomst. Ook reeksen van verschillende filters van dezelfde peilbuis vertonen vaak een overeenkomstige dynamiek. Het onderscheidend vermogen is naar verwachting dan ook goed.

Aandachtspunten:

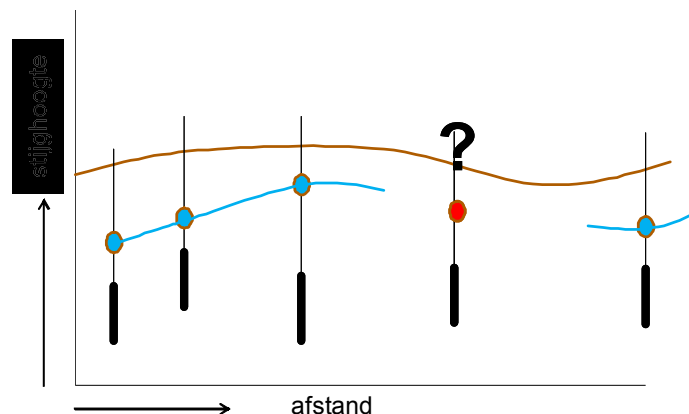
- Welke reeksen met elkaar gemodelleerd moeten worden moet worden bepaald.
- Het is niet zonder meer duidelijk welke reeksen input zijn en welke output. Dit speelt minder bij klassieke, handmatig waargenomen reeksen met een lage frequentie (doorgaans 24 maal per jaar), omdat daar een regressiemodel gebruikt kan worden zonder vertraging in de tijd. Dit is anders bij reeksen met hogere meetfrequenties, waarbij de ene reeks een paar dagen sneller reageert dan de andere.
- Bij de detectie van niet-plausibele waarden kan dat aan beide reeksen liggen
- Bij missende waarnemingen in de inputreeksen kan het model niet zonder meer gebruikt worden.

3.3.9 Simultane tijdreeksmodellering

In paragraaf 3.3.6 is sprake van één stijghoogtereeks als output en één of meer andere reeksen als input. Een aantal stijghoogtereeksen in een bepaald gebied kan ook simultaan worden gemodelleerd, waarbij elke stijghoogtereeks wordt gesplitst in regionaal samenhangende patronen en een lokale component (Berendrecht, 2004). Meetfouten manifesteren zich in de lokale component, waarbij het onderscheidend vermogen groter is dan als de stijghoogtereeksen afzonderlijk worden getoetst. Hier gelden dezelfde aandachtspunten als bij de overige tijdreeksmodellen.

3.3.10 Ruimtelijk patroon

De plausibiliteitstoetsen uit de voorgaande paragrafen zijn gebaseerd op de vraag of een waarneming van een stijghoogtereeks past bij het normale patroon van die reeks zelf, bij de variatie in de drijvende krachten en/of bij die van andere stijghoogtereeks(en) in de buurt. We kunnen de plausibiliteit van metingen op verschillende locaties echter ook in ruimtelijke zin beoordelen. De toetsresultaten uit de paragrafen 3.3.2 t/m 3.3.9 hebben een ruimtelijke verdeling. Er zijn twee manieren om de toetsresultaten in ruimtelijke zin te beoordelen:



Figuur 8: Principe van een plausibiliteitstoets op basis van het ruimtelijk patroon.

1. Getoetst kan worden in hoeverre individuele toetsresultaten afwijken van hun ruimtelijke verdeling
2. Uitbijters kunnen worden opgespoord via een geostatistische crossvalidatie-procedure.

Aandachtspunten:

- Uitgezocht zal moeten worden welke stijghoogtereeksen er in de ruimtelijke analyse betrokken worden.
- In het geval de amplitude van de stijghoogtereeksen verschilt, is het beter om de toetsingsgrootheid te normeren met de standaardafwijking van die reeks.
- Als tijdreeksmodellen beschikbaar zijn kan de ruimtelijke verdeling van de karakteristieken van de impulsrespons gebruikt worden.

3.4 Normaalperiode en -karakteristieken

3.4.1 Problematiek

Zoals in paragraaf 3.3 al is gesteld, is de kern van alle toetsen een vergelijking van een waarneming met een verwachting die gebaseerd is op een referentie uit het verleden. De referentie beschrijft het 'normale' patroon van de stijghoogtereeks en zal uit historische waarnemingen bepaald moeten worden. We noemen de referentieperiode, analoog aan wat binnen de meteorologie gebruikelijk is (zie e.g., (Sluijter en Nellestijn, 2002)), de normaalperiode. Waar de normaalperiode in de meteorologie echter een vaste periode is over heel Nederland, geldt ze hier per meetlocatie. Statistisch gezien geldt dat we het liefst een zo lang mogelijke periode hebben om karakteristieken te bepalen, mits de eigenschappen van de reeks niet veranderen, of mits in technische termen de reeks stationair is. Er zijn in Nederland echter maar weinig stijghoogtereeksen die over de afgelopen 50 jaar statistisch stationair zijn. In vrijwel alle gevallen zijn er structurele veranderingen in de reeksen aanwezig, als gevolg van waterhuishouding, waterwinning, veranderend landgebruik enz. Voor het toetsen van nieuw binnenkomende metingen moeten we een zo kort en recent mogelijke normaalperiode hanteren. De vraag doet zich dan voor: 'Hoever kunnen we terug in de tijd om de juiste statistische karakteristieken te bepalen?' We gaan ervan uit dat op dit moment van de meeste reeksen niet bekend is hoe lang de recente, statistisch stationaire periode is. In tegenstelling tot de meteorologie zal dit per reeks eenmalig vastgesteld moeten worden. Als dat eenmaal is gebeurd, kan periodiek (bv. eens per jaar) worden getoetst of de nieuwe periode van een jaar geen structurele veranderingen laat zien ten opzichte van de voorgaande jaren.

3.4.2 Vaststellen van de periode

Het is onmogelijk om op basis van metingen in een beperkt tijdvak exact de statistische kansverdeling af te leiden. Om tot een praktisch hanteerbare procedure te komen, beperken we ons tot het gemiddelde en de standaardafwijking van de reeks als maat voor respectievelijk het niveau en de spreiding. Veel stijghoogtereeksen vertonen een karakteristiek seizoensverloop. Om effecten van het seizoensverloop zoveel mogelijk te elimineren, bepalen we het gemiddelde en de standaardafwijking over een periode van een geheel aantal jaren. In het ideale geval is de minimale periode waarover het gemiddelde en de standaardafwijking bepaald wordt, drie à vier maal de correlatielengte (na aftrek van het seizoenseffect). Een langere periode heeft het risico dat structurele veranderingen worden gladgestreken, waardoor het lijkt alsof die veranderingen onderdeel zijn van het normale patroon. Aan de andere kant geven kortere perioden een grotere onzekerheidsband rond het gemiddelde en de standaardafwijking, waardoor het onderscheidend vermogen kleiner wordt. Echter deze lengte is op voorhand niet bekend, en is ook lastig volledig automatisch te schatten. Ervaring leert dat voor veel stijghoogtereeksen een periode van 7 tot 9 jaar redelijk voldoet. Bij de zogenaamde trage reeksen is dit niet het geval en geldt een langere minimale periode. In het hierna volgende wordt de minimale periode op N jaren gesteld. Bij kortere reeksen zijn de toetsen zoals beschreven in hoofdstuk 3 niet zinvol. Een eenvoudige procedure om vast te stellen hoe lang de periode moet zijn is als volgt:

- Bepaal voor elke periode van N jaren het gemiddelde en de standaardafwijking. We gaan dus met een moving window over de reeks heen, waarbij aansluitende perioden elkaar overlappen.
- Toets met een standaard statistische toets (student t-toets) voor elk paar van twee perioden of het gemiddelde en de standaardafwijking significant verschillen. Hiertoe dient wel een significantieniveau te worden gekozen.
- De maximale periode waarover de referentiekarakteristieken bepaald kunnen worden bestaat uit het aaneengesloten aantal minimale perioden (N jaar) waartussen geen significante verschillen bestaan.

Een uitgebreidere discussie over het vaststellen van het normale patroon is te vinden in (Van Geer, 2012).

Aandachtspunt:

- De laatste jaren worden veel meetbuizen met automatische sensoren uitgerust en wordt de stijghoogte met een aanzienlijk hogere frequentie gemeten. Om te voorkomen dat perioden met hoogfrequente waarnemingen onevenredig wegen ten opzichte van perioden met een lagere frequentie wordt eerst een maandgemiddelde bepaald, en vervolgens worden deze maandgemiddelden gemiddeld over de minimale periode N .

4 Sensoren: monitoring en validatie op hoger (meta)niveau

4.1 Ander proces, andere fouten

De toetsen die in het vorige hoofdstuk behandeld zijn zullen in het geval van de specifieke fouten en afwijkingen van (druk)sensoren naar verwachting onvoldoende effect sorteren. De afwijkingen van sensoren zijn relatief klein (maar desondanks wel relevant, zie paragraaf 2.5) en minstens zo belangrijk, de (meeste) afwijkingen volgen een dusdanig vast patroon dat nieuwe metingen niet zullen afwijken van de karakteristieken van de (ongecorrigeerde) periode daarvoor. In het eerder genoemde onderzoek naar de kwaliteit van druksensorreksen (Von Asmuth, 2011) werden de verschillende typen fouten en afwijkingen van (druk)sensoren behandeld. De belangrijkste daarvan zijn:

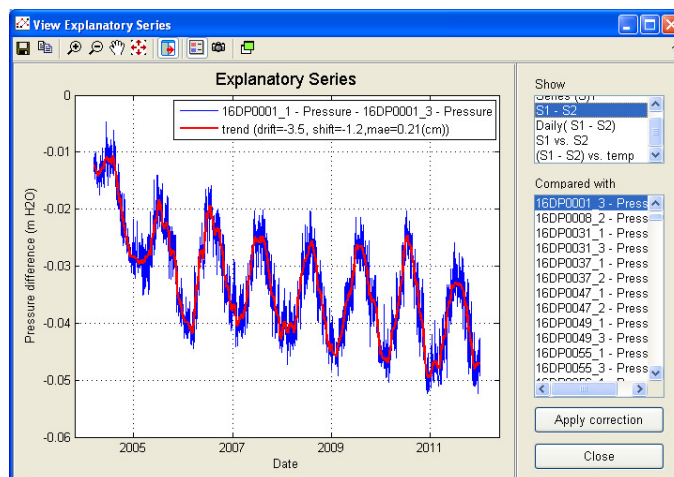
1. **Bias** - een constante verschuiving van het nulpunt van de sensor. Eventuele bias wordt gecorrigeerd wanneer de inhangdiepte m.b.v. handmetingen bepaald wordt.
2. **Drift** - een in de tijd oplopende verschuiving van het nulpunt van de sensor. De drift blijkt in veel gevallen ongeveer lineair te verlopen, maar kan ook plots veel groter worden. Dit laatste scharen we onder 'falen'.
3. **Temperatuurafhankelijkheid** - afwijkingen die samenhangen met de temperatuur. Het kan hierbij ofwel om een niet afdoende correctie van de temperatuurgevoeligheid van de sensor gaan, of om fouten in de temperatuurmeting zelf.

Bovengenoemde typen fouten zijn doorgaans niet direct zichtbaar, maar komen wel duidelijk aan het licht wanneer de druksensor droogvalt en/of wanneer twee luchtdrukreeksen onderling worden vergeleken (Figuur 9). Alhoewel het niet om een afwijking of meetfout als zodanig gaat, blijkt in de praktijk ook vaak op te treden en van belang:

4. **Falen van de drukopnemer** - wanneer de drukopnemer in het geheel niet meer uitgelezen kan worden of de afwijkingen plots sterk toenemen.

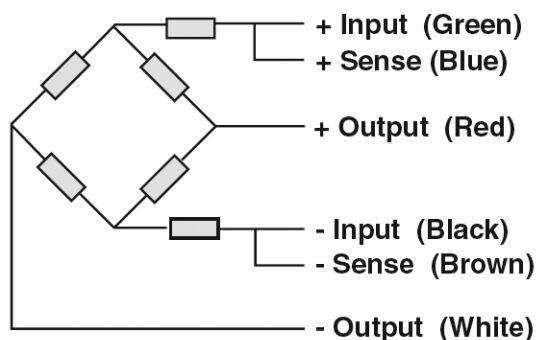
Doorgaans zijn in mindere mate van belang:

5. **Ruis** - random variatie van de gemeten waarde rond de werkelijke waarde.



Figuur 9: Verschillen tussen twee luchtdrukreeksen van dezelfde meetlocatie, met zichtbare bias, drift en temperatuurafhankelijkheid.

Wiring Schematic Diagram (Balanced bridge temperature compensation)



Figuur 10: Elektrisch schema van de sensor van een 'Single Point Load Cell', met fysieke temperatuurcompensatie (bron: Vishay Precision Group, 2010).

6. **Hysteresis** – Verschil in de relatie tussen druk en indrukking bij oplopende en afnemende druk.
7. **Haperingen en outliers** – incidentele of kortstondige afwijkingen. Een van de oorzaken die genoemd wordt is de aanwezigheid van condens c.q. waterdruppeltjes of juist luchtbelletjes op het meetmembraan.
8. **Tijdsverschuiving** - het voor- of achterlopen van de klok van de drukopnemer

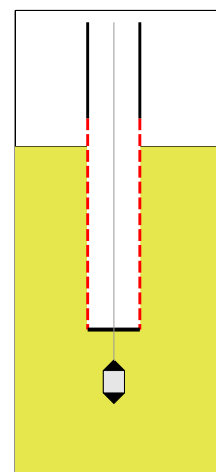
In reactie op de geconstateerde afwijkingen hebben verschillende gebruikers het standpunt ingenomen dat de oplossing te vinden zou zijn in het verhelpen van de afwijkingen door de desbetreffende fabrikant. Alhoewel het gedrag en de afwijkingen van (druk)sensoren per specifieke fabrikant en zelfs per individueel instrument verschilt, is het probleem echter generiek. Alle sensoren zullen er in meer of mindere mate last van hebben (foutloze metingen bestaan niet). De achterliggende techniek van sensoren berust in veel (of alle?) gevallen op het meten van een stroom door een weerstand (zie Figuur 10, Vishay Precision Group, 2010). Ook bij bijvoorbeeld verdampingsonderzoek met behulp van lysimeters bleek, ondanks de fysieke temperatuurscompensatie, de sensor die het gewicht van de lysimeter meet temperatuurgevoelig, waardoor een deel van de metingen (voorlopig) als verloren moet worden beschouwd (mond. mededeling Bernard Voortman).

4.2 Toename gegevens en complexiteit

Als we nogmaals de wet van Murphy aanhalen en als uitgangspunt nemen, dan leidt een toename van het aantal gegevens en verwerkingsstappen tot een toename van het aantal (mogelijke) fouten. Terwijl het gebruik van drukopnemers dikwijls aanbevolen is als 'automatisering' van het grondwatermeetnet, neemt in de praktijk de complexiteit van de meetopstelling, de gegevens en het bijbehorende verwerkingsproces toe. Ten opzichte van handmatige waarnemingen zijn de volgende extra gegevens en verwerkingsstappen nodig:

- Inhangdiepte van de sensor
- Locatie van de sensor
- Merk en type sensor
- Luchtdruk(compensatie)
- Omrekening van druk naar waterkolom
- Validatie (hand)metingen
- Correctie en/of herkalibratie van de sensor

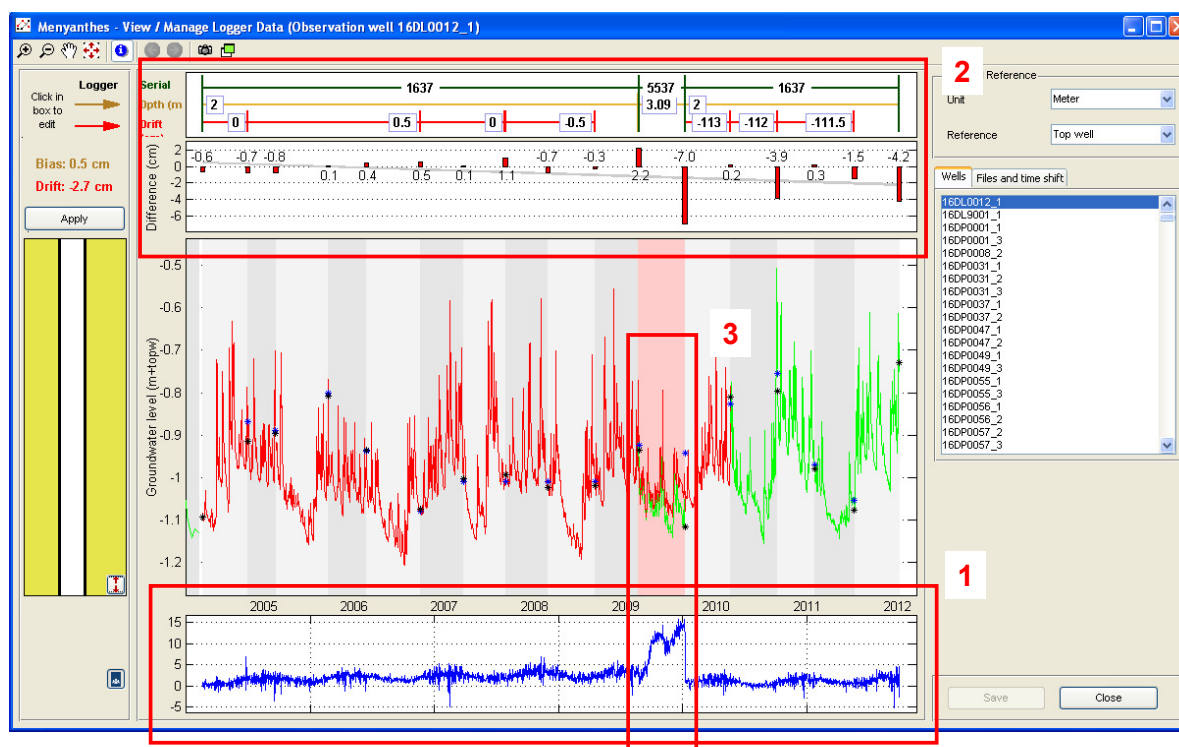
Een voorbeeld van het principe dat meer (technische) gegevens ook in de praktijk tot meer inconsistenties leiden is te zien in Figuur 11. De figuur toont een drukopnemer onder de onderkant van een peilbuis (ofwel in een onmogelijke toestand), zoals aangetroffen in de gegevens van een stedelijk meetnet. In de praktijk blijkt daarnaast verwisseling van drukopnemers (meetinstrumenten) in de gegevens veel voor te komen, net als wijzigingen in de inhangdiepte die er voor zorgen dat de meetreeksen verspringen rond de uitleesdatum.



Figuur 11: Een inconsistentie of drukopnemer onder een peilbuis, zoals aangetroffen in een stedelijk meetnet.

4.3 Metamonitoring

Net zoals metadata gegevens zijn die iets zeggen over de eigenlijke gegevens, zo kun je monitoring van het eigenlijke monitoringsproces als metamonitoring betitelen. Alhoewel dat (in ieder geval tot voor kort) nog niet overal de praktijk was, stellen de richtlijnen vanuit de KRW zoals gezegd onomwonden dat '...during the monitoring process, the achievement of the quality requirements shall itself be monitored (European Communities, 2007, p. 25). Daarnaast is er ook vanuit de initiatieven van de Stowa en Vitens inmiddels een bredere consensus ontstaan dat de afwijkingen van druksensoren gemonitord dienen te worden met behulp van periodieke handmatige controlemetingen. Richtlijnen over hoe, hoe vaak e.d. controlemetingen gedaan moeten te worden zijn te vinden in (Bouma e.a., 2012; Werkgroep validatie, 2012). Een technische richtlijn of standaard over hoe om te gaan met de verschillen tussen handmatige controlemetingen en druksensorreeksen ontbreekt echter nog. Volgens (De Meij en Von Asmuth, 2011; Von Asmuth, 2011) gaat het bij de verzamelde luchtdruk- en waterdrukreeksen om verschillende parameters en sensoren, die bij voorkeur apart gecontroleerd en zo nodig gecorrigeerd dienen te worden. Dit principe wordt inmiddels verder uitgewerkt tot software c.q. uitbreidingen van



Figuur 12: (Meta)monitoring van de fouten en afwijkingen van een drukopnemer. 1) Verschil tussen de lokale luchtdrukreeks en die van het dichtstbijzijnde KNMI-station. 2) Toegepaste correcties voor drift (aanpassing van het nulpunt) in het veld en verschil tussen handmatige controle metingen en de drukopnemerreeks. 3) Falen van de luchtdruksensor. Zowel de data als de drukopnemer kunnen hier 'gered' worden door over te schakelen op een andere luchtdrukreeks.

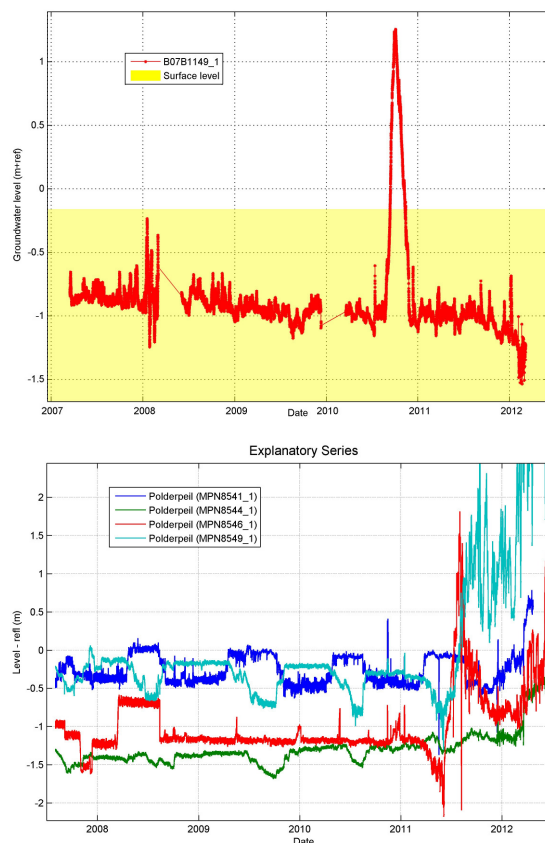
het programma *Menyantes* (Von Asmuth e.a., 2012). In (Werkgroep validatie, 2012) wordt gesteld dat KNMI-luchtdrukmetingen de voorkeur hebben boven eigen luchtdrukmetingen. Die conclusie gaat bij nadere beschouwing echter voorbij aan het gebruik van lokale luchtdruksensoren en/of drukopnemers die standaard ieder een eigen luchtdruksensor hebben (zoals de DCX22-AA van Keller). Wanneer de luchtdruk gemeten wordt in de peilbuis zelf treden er in principe geen verschillen op als gevolg van de afstand tussen peilbuis en KNMI-station. Hiermee leveren lokale luchtdrukmetingen in potentie een nauwkeuriger resultaat op, zolang de fouten en afwijkingen in de luchtdrukreeks afdoende gecorrigeerd worden. Figuur 12 laat als voorbeeld de userinterface van *Menyantes* zien (in concept toestand) die het mogelijk maakt om de afwijkingen in de luchtdruk- en waterdrukreeks apart te monitoren en zo nodig te corrigeren.

4.4 Metavalidatie

Wanneer men (noodgedwongen) accepteert dat 'alles wat fout kan gaan ook daadwerkelijk fout gaat' dan is ook het verwerkings- en validatieproces in de praktijk niet onfeilbaar, en bovendien complex en voor meerdere uitleg vatbaar. Voor een eindgebruiker is daarom niet alleen belangrijk om te weten DAT een validatieslag heeft plaatsgevonden op een bepaald gegeven, maar ook HOE die validatie heeft plaatsgevonden en WAT de resultaten daarvan waren. De parallel met data en metadata, monitoring en metamonitoring doortrekkend, zou men naar het beoordelen of valideren van de uitgevoerde validatie kunnen refereren met de term metavalidatie. De betekenis en meerwaarde van metavalidatie zijn daarmee hopelijk duidelijk, en in het ideale geval kan een gebruiker van de gegevens dit zelf doen. Voor een eindgebruiker is metavalidatie mogelijk wanneer:

- het verwerkings- en validatieproces helder en vastgelegd is;
- de uitgevoerde correcties transparant en reproduceerbaar zijn;
- te beoordelen is wat de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid is van het eindresultaat.

De KRW-richtlijnen benoemen op dit punt ook een aantal relevante zaken, bijvoorbeeld dat '...It is important that the probability and magnitude of errors in the monitoring data are estimated' en '...quality assurance should ensure at any time that the methods used are strictly controlled and monitored' of '...Estimates of the confidence in the monitoring results should be determined and reported' (European Communities, 2003; European Communities, 2007). In (Von Asmuth, 2011) is er al op gewezen dat de specificaties van de afwijkingen van veelgebruikte drukopnemers onvolledig en onbetrouwbaar zijn, en dat de afwijkingen bovendien verschillen per individueel instrument. De in de praktijk opgetreden verschillen tussen de handmatige controlemetingen en de drukopnemerreeksen geven meer inzicht in de feitelijke fouten en afwijkingen die optreden. Dit zal nader onderzocht worden aan de hand van de (zeer complete) dataset van de provincie Overijssel en valt buiten de scope van het onderhavige project. Voorbeelden van het feit dat onduidelijkheid over de betrouwbaarheid en validatie de waarde en bruikbaarheid van metingen kan reduceren zijn te vinden in Figuur 13. In beide grafieken zijn periodes zichtbaar die in ieder geval onbetrouwbaar zijn, omdat volgens de metingen het gebied grootschalig geïnundeerd geweest zou moeten zijn. De trends die daarnaast zichtbaar zijn in de meetreeksen zouden reëel kunnen zijn, maar kunnen ook te wijten zijn aan drift van de sensoren en dus mogelijk ook onbetrouwbaar. In beide gevallen interfereren de mogelijke fouten en afwijkingen dusdanig met de meetdoelstelling en met mogelijke reële effecten (boven: ingrepen en bodemdaling, onder: verhoging Veerse Meerpeil (Von Asmuth en Leunk, 2012)) dat de metingen (zonder hervalidatie) onbruikbaar bleken en het niet toelieten om eenduidige conclusies over de opgetreden effecten te trekken. In dit soort gevallen is het kunnen beoordelen van de uitgevoerde validatie essentieel.



Figuur 13: Voorbeelden van druksensorreeksen die deels onbetrouwbaar en deels mogelijk onbetrouwbaar zijn. Boven: peilbuis in Noord-West Groningen. Onder: polderpeilreeksen rond het Veerse Meer in Zeeland.

4.5 Toetsing en herijking

Zoals gezegd zullen de toetsen die in hoofdstuk 3 aan de orde zijn gekomen naar verwachting minder effectief zijn voor sensorreeksen. Met wat aanpassingen kan men echter ook toetsen opstellen om specifieke problemen van (druk)sensoren op te sporen, zoals:

- consistentie tussen de inhangdiepte en de overige metadata;
- verwisseling van het instrument;
- verspringing op de uitleesdatum;
- droogval en 'droge' metingen rond het uitlezen;
- tijdsverschuivingen;
- verschil tussen de lokale luchtdruk en die van het KNMI.

Daarnaast kan de kwaliteitsborging en validatie van sensorreeksen (verder) gestandaardiseerd en geautomatiseerd worden door niet zozeer te toetsen maar door te:

- Corrigeren voor drift (aan de hand van de handmatige controlemetingen)
- Corrigeren voor temperatuurafwijking (luchtdruk, aan de hand van KNMI-data)

In feite vindt op die manier (periodieke) herkalibratie of herijking van het meetinstrument plaats. Bij de drift-correctie speelt een rol dat zowel de sensor- als de handmetingen fouten bevatten. Mogelijk kan de drift eenvoudig (bijv. lineair) gemodelleerd worden, of kan een algoritme gebaseerd op het Kalman-filter uitkomst bieden. Zowel de bovengenoemde specifieke toetsen als automatisering van het herijkingsproces zouden in het vervolg onderzoek verder uitgewerkt moeten worden.

5 Relatie met andere initiatieven en beleid

5.1.1 Andere initiatieven en projecten

De kwaliteit van meetreeksen kan op verschillende manier worden beïnvloed en geborgd. Er zijn de afgelopen periode verschillende andere projecten en initiatieven geweest die een relatie hiermee hebben, en waaruit rapporten, methoden en/of richtlijnen zijn voortgevloeid:

- Validatieplan waterkwantiteitsmetingen (Versteeg en De Graaff, 2009) Dit rapport is verschenen op initiatief van de STOWA en het 'platform monitoring' van de waterschappen. Het behandelt verschillende typen (oppervlakte)waterkwantiteitsmetingen en daarvan afgeleide reeksen, en verschillende validatietechnieken en hulpmiddelen daarbij.
- Kwaliteit, frequentie en validatie van druksensorreeksen (Von Asmuth, 2011) Dit onderzoek is gedaan op initiatief van de provincie Overijssel en de Overijsselse waterschappen. Het behandelt de specifieke afwijkingen en kwaliteit van stijghoogtereeksen die met druksensoren verzameld zijn, en geeft handreikingen voor de correctie en validatie daarvan.
- Validatieprocedure drukopnemers grondwater (Werkgroep validatie, 2012). Deze procedure is opgesteld door de Werkgroep Validatie van de waterleidingbedrijven, onder aanvoering van Vitens. Het richt zich (zoals de titel doet vermoeden) op de procesmatige aspecten bij het monitoren met drukopnemers.
- Handboek meten van grondwaterstanden in peilbuizen (Bouma e.a., 2012) Dit handboek is eveneens verschenen op initiatief van de STOWA en het 'platform monitoring'. Het beschrijft de inrichting van de meetlocaties en het meetproces (...Hoe richt je een peilbuis in? Hoe vaak verricht je een handmeting, naast lopende drukopnemermetingen?) en beoogt dat te standaardiseren en de kwaliteit ervan te verbeteren.
- Optimalisatie van verwerking, validatie en correctiemethoden en hervvalidatie druksensorreeksen Dit project is wederom een initiatief van de provincie Overijssel, en vormt een vervolg op het eerdere onderzoek uit 2011. In dit (lopende) project worden de concepten en handreikingen die eerder gedaan zijn verder uitgewerkt tot praktische (softwarematige) instrumenten. Tegelijkertijd wordt de 'historische' druksensordataset van Overijssel (en inmiddels ook die van andere partijen) met behulp van de nieuwe methoden 'gehervalueerd'. Het onderzoek beoogt de meerwaarde van de voorgestelde methodiek, de betrouwbaarheid van de gebruikte instrumenten en van de metingen zelf in te schatten (conform de KRW-richtlijn, zie volgende paragraaf).

Naast bovengenoemde initiatieven is eerder een rapport verschenen over de validatie van grondwaterkwaliteitsgegevens (Van der Meij en Van der Meer, 2010). Fouten en afwijkingen in meetgegevens zijn natuurlijk geen specifiek Nederlands probleem. Zonder in dit kader uitputtend te kunnen zijn noemen we hier een aantal relevantie publicaties over gerelateerde onderwerpen:

- Normen voor de inrichting van meetlocatie en meetproces (NEN 5766, 2003; NEN-ISO 21413, 2005; ISO/TR 23211:2009, 2009)
- Fouten en afwijkingen van (druk)sensoren (Carr, 1993; McLaughlin en Cohen, 2011; Sorensen en Butcher, 2011)
- Richtlijnen en handvatten voor dataverwerking en validatie (Goering, 2009; EEA, 2010)

Een recente, wetenschappelijke review van methoden, fouten en valkuilen bij stijghoogtemonitoring is te vinden in (Post en Von Asmuth, in print). Ook de lopende transitie van de database DINO naar de BRO speelt een belangrijke rol bij dit project. Een van de primaire doelen van de beoogde methodiek en het beoogde softwaresysteem is het borgen van de kwaliteit van de stijghoogtereeksen die daarin

opgeslagen zijn en/of aangeleverd worden. TNO, als de databeheerder van de BRO, kan mogelijke fouten signaleren, maar heeft geen bevoegdheid de metingen zelfstandig aan te passen.

Het verschil tussen het onderhavige project en de meeste andere initiatieven en publicaties is dat dit project zich niet richt op het omschrijven en verbeteren van het meetproces, maar op het resultaat daarvan: borging van de gegevensstroom zelf. Het beoogde onderzoek en de resultaten daarvan zijn daarbij sterk kwantitatief en op automatisering en grotere datahoeveelheden gericht. Het project als geheel beoogt zoals gezegd een innovatief, softwarematig systeem op te leveren dat de kwaliteitsborging voor de databeheerders van Nederland zal verbeteren en vergemakkelijken. De behoefte hieraan is benoemd vanuit de andere initiatieven, en dit onderzoek zal de eerdere initiatieven dan ook verre van tegenwerken maar juist versterken.

5.1.2 De Kaderrichtlijn Water (Water Framework Directive)

Voor het monitoren van grondwaterstanden en -stijghoogtes voor de Kaderrichtlijn Water zijn de twee belangrijkste Europese richtlijnen:

- WFD CIS Guidance Document No. 7: Monitoring under the Water Framework Directive (European Communities, 2003)
- WFD CIS Guidance Document No. 15: Guidance on Groundwater Monitoring (European Communities, 2007)

De richtlijnen zijn een onderdeel van de 'Common Implementation Strategy' van de KRW of WFD, en hebben als doel het vergroten van de coherentie en uniformiteit van de implementatie van de KRW. Ze zijn wettelijk niet bindend, maar vormen een weerslag van de consensus binnen de Europese Unie over 'Best Practices' met betrekking tot (grondwater)monitoring. In die zin dienen ze letterlijk als 'richtlijn' te fungeren bij het verder uitwerken en invullen van de Nederlandse monitoringspraktijk. In de KRW-richtlijnen zijn een aantal zaken opgenomen die betrekking op dit onderzoek. De terminologie die daar (en elders) gebruikt wordt is QA/QC, ofwel Quality Assurance en Quality Control. We citeren hier de relevante passages:

- WFD CIS Guidance Document No. 7:
 - ...errors in the monitoring data could lead to errors in the evaluation of the reliability of the conceptual model/understanding. It is important that the probability and magnitude of errors in the monitoring data are estimated (p. 80).
 - An appropriate quality assurance procedure should reduce errors in monitoring data (p. 80).
 - A requirement of the WFD is that all monitoring shall conform to the relevant standards on the national, European or international scale to ensure the provision of data of an equivalent scientific quality and comparability (p. 93).
 - It is recommended that appropriate standards are developed as a matter of priority and urgency for those aspects of monitoring for which there are no internationally agreed standards or techniques/methods. (p. 93)
 -a continuous quality assurance system should be developed to ensure that all monitoring results meet assured target levels of precision and bias (p. 94).
 - In routine monitoring, quality assurance should ensure at any time that the methods used are strictly controlled and monitored (p. 94)
 - Monitoring data are reported with an uncertainty estimate calculated from method validation or from inter-comparison exercise (p. 95)
- WFD CIS Guidance Document No. 15:
 - During the monitoring process, the achievement of the quality requirements shall itself be monitored (p. 25)
 - Quality requirements for transfer, storage, modelling and interpretation of data are clear documentation of data management, interpretation and decision rules..... (p. 25)

- In control of transfer, storage, modelling and interpretation of data, spot checks of data consistency (transfer and storage) are mandatory (p. 26)
- Minimum elements to be covered by quality assurance procedures are: (p25)
 - Internal quality control of methods
 - Traceability of measurements
 - Validation of methods, including uncertainty estimation
 -
- Estimates of the confidence in the monitoring results should be determined and reported in accordance with WFD requirements (p. 27)

6 Kwaliteitsborging in breder perspectief

6.1 Voorkomen en beperken van fouten

6.1.1 Normering, certificering, keuring en accreditatie

Naast het controleren van de gegevensstroom op ongerechtigdheden zijn er ook andere middelen om de kwaliteit van meetgegevens positief te beïnvloeden. In paragraaf 5 zijn al de verschillende recente initiatieven aan de orde gekomen die gericht zijn op het beschrijven en standaardiseren van de meetopstelling en het meetproces, naast de normen die daarvoor bestaan. Zonder hier dieper daarop in te gaan, zij opgemerkt dat naast het opstellen van standaarden het ook mogelijk is om het gebruik daarvan te bewaken via certificering en/of accreditatie van de uitvoerende partijen. Verder is er zoals gezegd in (Von Asmuth, 2011) al op gewezen dat de specificaties van de afwijkingen van veelgebruikte drukopnemers onvolledig en onbetrouwbaar zijn. Naast een paar grotere partijen is er een keur van kleinere partijen op de markt die druk- en andere sensoren aanbieden voor het monitoren van (grond)waterpeilen. Alhoewel alle sensoren meer of minder last hebben van fouten en afwijkingen, zijn langniet alle problemen en fouten te voorkomen en/of te corrigeren via 'metamonitoring'. Daarnaast blijkt er bij veel gebruikers behoefte te zijn aan beter en meer onafhankelijk inzicht in de betrouwbaarheid van verschillende merken en typen sensoren. Het valt mede gezien de bestedingen hieraan op landelijke schaal dus zeker te overwegen om meetinstrumenten aan een onafhankelijke keuring te onderwerpen alvorens ze in te zetten in de geohydrologische praktijk. Zoals in paragraaf 5 aan de orde kwam zou het echter ook mogelijk moeten zijn om de betrouwbaarheid van veel gebruikte instrumenten af te leiden uit (goed geadmistreerde) historische druksensor- en handmatige controlereeksen, en op dit gebied loopt dus een initiatief (zie ook paragraaf 6.2 hieronder).

6.1.2 Controle in het veld

We noemen hier terzijde ook het controleren van de sensormeting direct in het veld aan de hand van een handmatige controlemeting. Niet ieder merk of type druksensor biedt die mogelijkheid, aangezien de sensormeting (van absolute sensoren) pas achteraf gecompenseerd wordt voor luchtdruk, na uitlezen van de barosensor. Controle in het veld geeft echter directe feedback op zowel de sensor- als de handmeting, en helpt dus om fouten bij de inwinning te beperken.

6.1.3 Minimalisering van handmatige verwerkingsstappen

Naast bovengenoemde punten is ook het zover mogelijk minimaliseren van alle handmatige stappen in het hele proces van hand- en sensormeting, via omrekening, controle en validatie tot de uiteindelijke opslag in de (centrale) database een factor waarvan het belang niet snel overschat kan worden. Zo zullen de in bijlage C aangehaalde voorbeelden van inconsistenties tussen databases vermoedelijk terug te voeren zijn op handmatige stappen in de gegevensuitwisseling. De komst van de BRO zal naar verwachting voor grote verbeteringen op dit punt zorgen. De verwerking en luchtdrukcompensatie van druksensordata is inmiddels geheel geautomatiseerd in het programma Menyanthes, op het aanwijzen van de uitvoerbestanden en invoeren van de controlemeting na. Het onderhavige project beoogt zoals gezegd de toetsing, eventuele correctie of periodieke kalibratie van de sensoren waar mogelijk te automatiseren.

6.2 Hervalidatie van historische gegevens

De toetsen op consistentie en de eenvoudige plausibiliteitstoetsen (zoals beschreven in de paragrafen 3.3.2, t/m 3.3.4 en 3.3.7) kunnen direct bij het aanleveren van nieuwe stijghoogtemetingen worden uitgevoerd. Andere plausibiliteitstesten, zoals die in 3.3.6, 3.3.9 en 3.3.10, kunnen het beste periodiek worden uitgevoerd, bijvoorbeeld eenmaal per jaar. Na de jaarlijkse controle, kunnen ook de karakteristieken van de normaalperiode opnieuw worden berekend, waarbij de normaalperiode een jaar wordt opgeschoven en de nieuwe stijghoogtemetingen worden meegenomen.

De basis voor de in hoofdstuk 3 beschreven toetsen zou gevormd moeten worden door een databestand met gevalideerde, historische stijghoogtereeksen. Met deze historische stijghoogtereeksen wordt de normaalperiode bepaald en vervolgens kunnen nieuw binnenkomende waarnemingen worden getoetst tegen de karakteristieken van de normaalperiode. Bij veel databestanden worden controles uitgevoerd in het kader van kwaliteitsborging. Veelal zijn dit handmatige, arbeidsintensieve en/of visuele controles. Ondanks de serieuze inspanning, is de effectiviteit van dit soort kwaliteitscontroles niet optimaal. De ervaring leert dat er tal van fouten en onregelmatigheden in de bestanden van stijghoogtereeksen blijven bestaan. In het licht van de beschreven toetsen is het directe gevolg van fouten in een stijghoogtereeks, dat de karakteristieken in de normaalperiode niet goed geschat worden, waardoor ook de toetsen minder effectief zijn. Los van de toetsen in het kader van kwaliteitsborging, hebben fouten in historische reeksen ook consequenties voor de bepaling van karakteristieken (bv. regiemcurve), kalibratie van grondwatermodellen, bepaling van input-respons relaties, geostatistische interpolatie, trenddetectie, enz. Daarom is het noodzakelijk om (eenmalig) alle historische stijghoogtereeksen te toetsen en fouten en onrechtmatigheden daaruit te verwijderen.

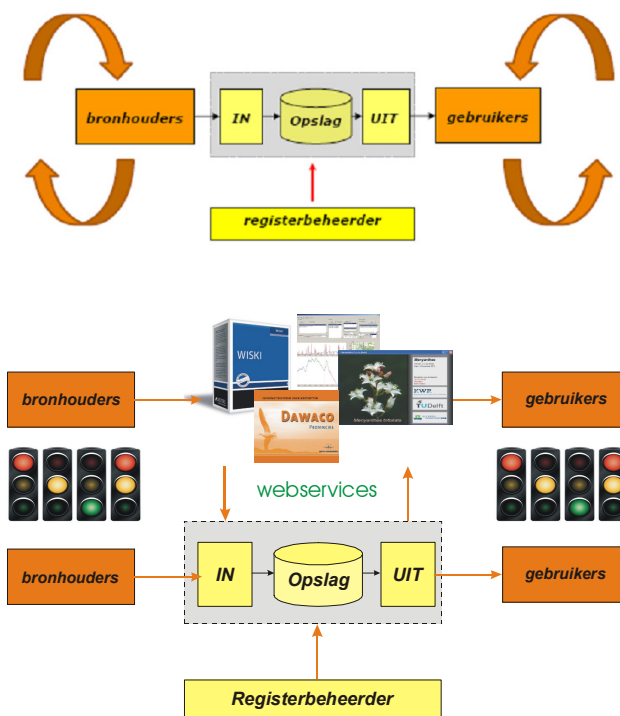
In de vervolgfases van dit project zullen historische gegevens gebruikt worden om de verschillende te ontwikkelen toetsen te testen op hun performance en resultaten. Hervalidatie van de historische stijghoogtereeksen in de praktijk blijft ook hier echter de verantwoordelijkheid van de individuele meetnetbeheerder, en valt buiten de scope van het onderhavige project.

6.3 Beoogd softwaresysteem (open en/of open source)

6.3.1 Globale opzet en afbakening

Het in de latere fasen van dit project te ontwikkelen softwaresysteem kan in dit stadium slechts schetsmatig aangegeven worden. Zoals in paragraaf 6.1.3 al is aangegeven vormt de komst van de BRO een belangrijke stap in de verdere automatisering van de (stijghoogte)gegevensstromen, en dus de kwaliteitsverbetering. Vanzelfsprekend dient het hier beoogde kwaliteitsborgingssysteem dus goed gekoppeld te worden en/of te kunnen communiceren met de BRO. Figuur 14 geeft een schets van de beoogde opzet van de BRO, zoals door TNO (Stephan Gruijters) gepresenteerd op de DINO-gebruikersdag van 26-9-2012. Een belangrijke aanvulling op dit schema is dat de communicatie door zowel bronhouders als gebruikers met de BRO ofwel via DINOloket, ofwel via webservices zal verlopen. Daarnaast beschikken de (grotere) meetnetbeheerders ook over eigen, al dan niet commerciële, programmatuur die de BRO noch het beoogde kwaliteitsborgingssysteem geheel zal kunnen (of zou moeten) vervangen. De meest gunstige en efficiënte oplossing voor de praktijk van bronhouders en gebruikers lijkt een opzet zijn waarbij de verschillende softwarepakketten zo goed en geautomatiseerd mogelijk (dus via webservices en/of databasekoppelingen) op elkaar aansluiten. Een dergelijke ICT-configuratie kan een totaaloplossing bieden waarbij bestaande onderdelen specifiek kunnen worden ingezet op de punten waarop

Het systeem



Figuur 14: boven: globale opzet van de BRO (bron: presentatie DINO-gebruikersdag 26-9-2012). onder: mogelijke relatie tussen de BRO, het beoogde kwaliteitsborgingssysteem en gerelateerde software.

ze sterk scoren of zo nodig individueel kunnen worden vervangen.

6.3.2 Gebruik in de meetpraktijk

Het doel van het te ontwikkelen systeem van plausibiliteitstoetsen is het geautomatiseerd detecteren van onwaarschijnlijke waarden (uitbijters). Lang niet elke afwijkende of extreme waarde is echter 'fout'. Een extreem lage stijghoogte kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van een extreem droge periode. De toetsen geven alleen aan of een bepaalde stijghoogtewaarneming past in het normale patroon. Als dat niet het geval is, zal een databeheerder moeten beoordelen of de extreme waarde als fout of verdacht aangemerkt moet worden of niet. Indien dit het geval is, dient de databeheerder dit te melden aan de verantwoordelijke voor het stijghoogtemeetnet, die vervolgens kan onderzoeken of de reden van de extreme waarde is te achterhalen en/of deze als foutieve waarneming kan worden gecorrigeerd. Zoals al eerder gesteld, dient bij correctie de originele meting wel bewaard te worden, om later altijd de herkomst van een gegeven te kunnen achterhalen.

De verschillende toetsen richten zich op verschillende aspecten van de tijdreeks, zoals het seizoensverloop, de samenhang in de tijd of de relatie met een andere meetreeks. In veel gevallen zal een combinatie van toetsresultaten een aanwijzing kunnen geven over wat er aan de hand kan zijn. Extreem lage standen als gevolg van droogte komen bijvoorbeeld regionaal voor. In dat geval zal een extreme waarde in de tijdreeks wel in het ruimtelijke patroon passen. Het blijft echter de verantwoordelijkheid van de gegevensbeheerder om verdachte waarden te signaleren en door te geven aan de meetnetverantwoordelijke. Deze zal op zijn/haar beurt beoordelen of er een corrigerende actie noodzakelijk is, of dat alleen een waarschuwingslabel volstaat. Naast een geautomatiseerd systeem van statistische toetsen is het noodzakelijk om een protocol te hanteren welke vervolgacties er moeten volgen bij bepaalde toetsresultaten en wie hiervoor verantwoordelijk is.

De toetsresultaten dienen een onderdeel te worden van het gegevensbestand. Bij een bepaalde stijghoogtewaarde kan de eindgebruiker dan zien welke toetsen zijn uitgevoerd en wat daarvan het resultaat is. De combinatie van toetsen leidt tot een beoordeling, bijvoorbeeld in de vorm van labels (groen= 'niets aan de hand'; geel= 'verdacht'; rood= 'zeer onwaarschijnlijk dan wel onmogelijk', zie ook Figuur 14). Ook als een waarde gecorrigeerd is (bijvoorbeeld bij filterverwisseling), dient dit voor eindgebruikers zichtbaar te blijven. Op deze wijze hebben de toetsresultaten toegevoegde waarde voor de eindgebruiker. Bij de kalibratie van een grondwatermodel kan men bijvoorbeeld meer waarde toekennen aan betrouwbare reeksen (zie ook paragraaf 4.4).

Bijlage A. Technische uitwerking van de toetsen

A1. Globale waardenbereik.

Voor de waarnemingsreeks h met N waarnemingen is het globale gemiddelde:

$$\bar{h} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N h_i \quad (\text{A1})$$

en de globale standaardafwijking:

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (h_i - \bar{h})^2} \quad (\text{A2})$$

Als het verschil tussen de waarneming op tijdstip t en het globale gemiddelde groter is dan een tevoren vastgelegd waardenbereik, wordt de waarneming als extreem (=verdacht) aangemerkt. Hiervoor kan plus of min drie maal de globale standaardafwijking worden gebruikt. Bij een normale verdeling komt dit neer op een betrouwbaarheidsinterval van 99%.

$$-3\sigma_h \leq (h_t - \bar{h}) \leq 3\sigma_h \quad (\text{A3})$$

Om te voorkomen dat (korte) perioden met hoogfrequente waarnemingen een te groot gewicht krijgen kunnen we de berekening van het gemiddelde in twee stappen uitvoeren. Eerst bepalen we het gemiddelde per maand en vervolgens middelen we de maandgemiddelden over de hele periode.

$$\bar{h} = \frac{1}{N_m} \sum_{i=1}^{N_m} \frac{1}{N_d(i)} \sum_{j=1}^{N_d(i)} h_j(i) \quad (\text{A4})$$

N_m is het aantal maanden in de hele periode, $N_d(i)$ is het aantal metingen in de maand i en $h_j(i)$ is de j^{de} waarneming in maand i .

Analoog wordt de standaardafwijking geschat met:

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{1}{N_m} \sum_{i=1}^{N_m} \left\{ \frac{1}{N_d(i)-1} \sum_{j=1}^{N_d(i)} (h_j(i) - \bar{h})^2 \right\}} \quad (\text{A5})$$

A2. Regiemcurve.

We gaan uit van een regiemcurve op maandbasis. De regiemcurve en de bijbehorende standaardafwijking wordt bereken door eerst per jaar het gemiddelde van de waarnemingen in de maand m te bepalen en deze gemiddelden vervolgens te middelen over de jaren N_j :

$$\bar{h}_m = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} \left\{ \frac{1}{N_{md}(i)} \sum_{j=1}^{N_{md}(i)} h_j(m, i) \right\} \quad (\text{A6})$$

Hierin is \bar{h}_m de gemiddelde stijghoogte in maand m , $N_{md}(i)$ het aantal waarnemingen in maand m van het jaar i en $h_j(m,i)$ de j^{de} waarneming in maand m van het jaar i .
De bijbehorende standaardafwijking is:

$$\sigma_{hm} = \sqrt{\frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} \left\{ \frac{1}{N_{md}(i)-1} \sum_{j=1}^{N_{md}(i)} (h_j(m,i) - \bar{h}_m)^2 \right\}} \quad (A7)$$

De test is overeenkomstig het globale waardenbereik:

$$-3\sigma_{hm} \leq (h_j(m,i) - \bar{h}_m) \leq 3\sigma_{hm} \quad (A8)$$

A3. Verschilreeks

a. Equidistante waarnemingen.

De verschilreeks is gedefinieerd als:

$$\Delta h_i = (h_{i+1} - h_i) \quad (A9)$$

Hiervan kan weer het gemiddelde en de standaardafwijking worden bepaald:

$$\bar{\Delta h} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} \Delta h_i \quad (A10)$$

en

Error! Objects cannot be created from editing field codes.
(A11)

De test bestaat nu uit het berekenen van het verschil van de nieuwe waarneming en de directe voorganger en vervolgens toetsen of dat verschil binnen het interval van 3 maal de standaardafwijking ligt.

b. Variabele frequentie

Bepaal de correlatiefunctie op basis van de kleinste tijdstap (zeg een dag):

$$\rho_{\Delta h}(k) = \frac{1}{N-k-1} \sum_{i=1}^{N-k-1} \frac{(h_i - \bar{h})(h_{i+k} - \bar{h})}{\sigma_{\Delta h}^2} \quad (A12)$$

Er kan worden bewezen dat de standaardafwijking van het verschil tussen waarnemingen die k tijdstappen uit elkaar liggen gelijk is aan:

$$\sigma_{\Delta h}(k) = \sqrt{2\sigma_{\Delta h}^2 \{1 - \rho_{\Delta h}(k)\}} \quad (A13)$$

A4. Univariante voorspelling

We kunnen een univariaat tijdreeksmodel voor de stijghoogte maken. Een bekend voorbeeld voor een discreet tijdreeksmodel is een ARIMA-model (ook wel Box-Jenkins model genoemd). Het bouwen van een tijdreeksmodel wordt hier verder niet besproken. Een modelvorm die voor veel (ondiepe) stijghoogte reeksen met een meetfrequentie van 24 maal per jaar voldoet is:

$$h_t = \varphi_1 h_{t-1} + a_t - \theta_{24} a_{t-24} \quad (\text{A14})$$

Met het modelleren wordt ook de variantie van de witte ruis bepaald (σ_a^2). Stel dat het tijdreeksmodel bekend is, en we hebben waarnemingen tot en met het tijdstip t . Met het tijdreeksmodel kunnen we een voorspelling maken voor het tijdstip $t+1$ inclusief de daarbij behorende standaardafwijking. Voor het voorbeeld (A14) is de voorspelling:

$$\hat{h}_{t+1} = \varphi_1 h_t - \theta_{24} a_{t-24} \quad \text{A(15)}$$

De fout in de voorspelling één tijdstap vooruit is gelijk aan a_{t+1} . De voorspelling kan dus worden getoetst met:

$$-3\sigma_a \leq (h_{t+1} - \hat{h}_{t+1}) \leq 3\sigma_a \quad (\text{A16})$$

Opm.1 De formulering van andere tijdreeksmodellen kan anders zijn, maar het principe van de toets blijft hetzelfde.

A5. Voorspelling met externe input

Stijghoogte variaties worden door verschillende drijvende krachten veroorzaakt. Als we in staat zijn om een input-respons functie tussen de drijvende krachten en de stijghoogte reeks te maken, kan deze functie worden gebruikt voor de voorspelling. Een belangrijk drijvende kracht is de variatie in het weer. Deze drijvende kracht kunnen we kwantificeren met het neerslagoverschot:

$$N_t = P_t - fE_t \quad (\text{A17})$$

N_t	Neerslagoverschot
P_t	Bruto neerslag
E_t	Potentiele verdamping
f	gewasfactor (vaak wordt 0.8 genomen)

De meteorologische data kunnen van het KNMI worden betrokken.

De stijghoogtereeks kan zowel indiscrète tijd als continu worden beschreven als functie van het (bekende) neerslagoverschot en een onbekende ruis. Het deel dat wordt gecontroleerd door de het neerslagoverschot is de respons van de stijghoogte op het neerslagoverschot. Een algemene formulering is:

$$h_t = F(N_t, a_t) \quad (\text{A18})$$

Als we waarnemingen hebben tot en met het tijdstip t kunnen we met (A18) weer een voorspelling maken voor het volgende meettijdstip, inclusief de daarbij behorende standaardafwijking van de voorspelfout:

$$\hat{h}_{t+1} \text{ en } \sigma_{\hat{h}_{t+1}}.$$

Deze voorspelling wordt weer getoetst tegen $\pm 3\sigma_{\hat{h}_{t+1}}$. Het grote voordeel van het gebruik van meteo gegevens is dat extremen in de stijghoogte als gevolg van weersvariates als plausibel zullen worden aangemerkt. Hiermee wordt het onderscheidend vermogen om fouten te detecteren groter.

Opm.: Andere input reeksen

In principe is het mogelijk om naast, of in plaats van het neerslagoverschot andere reeksen als verklarende variabelen te gebruiken. Dit kan het geval zijn voor stijghoogte metingen in de nabijheid van onttrekkingen, of vlak bij oppervlaktewater. In deze gevallen is de input reeks respectievelijk de onttrekking en het waterniveau in het oppervlaktewater. De voordelen zullen duidelijk zijn. Een aandachtspunt hierbij is dat we dan wel over de betreffende inputreeksen dienen te beschikken.

A6 Verschil stijghoogtereeksen (filterverwisselingen)

De verschilreeks tussen twee stijghoogte reeksen kan op dezelfde wijze beoordeeld worden als de verschillen tussen twee opeenvolgende tijdstappen. Voor twee stijghoogtereeksen $h_{1,t}$ en $h_{2,t}$ is de genormeerde verschilreeks:

$$z_t = \frac{h_{1,t}}{\sigma_{h1}} - \frac{h_{2,t}}{\sigma_{h2}} \quad (\text{A19})$$

En de toets is dan:

$$-3\sigma_z \leq (z_t - \bar{z}) \leq 3\sigma_z \quad (\text{A20})$$

Opm.: In eerste instantie denken we daarbij vooral aan meetreeksen uit dezelfde waarnemingsput en meetreeksen die door dezelfde waarnemer worden waargenomen. Uiteraard kunnen ook meetreeksen worden vergeleken die om een andere reden een goed verband vertonen.

A7 Responsfunctie stijghoogtereeksen

Een stijghoogtereek kan ook worden gemodelleerd als respons op een andere stijghoogte reeks. Wiskundig is dit gelijk aan het voorspellen met het neerslagoverschot (zie punt A5), alleen is de verklarende input reeks een stijghoogte in plaats van het neerslagoverschot. Dit is het oude stambuisprincipe, waarbij een regressie model wordt gebruikt. Een regressie model kan worden gezien als een bijzonder geval van een responsfunctie.

In heel veel gevallen vertoont de dynamiek van stijghoogte reeksen in één hydrologische eenheid een grote mate van overeenkomst. Ook reeksen van verticaal boven elkaar gelegen filter vertonen vaak een overeenkomstige dynamiek. Het onderscheidend vermogen is naar verwachting dan ook goed.

Aandachtspunten zijn:

- Uitzoeken welke reeksen met elkaar worden gemodelleerd,
- Het is niet zonder meer duidelijk welke reeksen input zijn en welke de respons. Dit speelt niet zo zeer bij de klassieke reeksen van een frequentie van 24 maal per jaar, omdat daar doorgaans een regressie model gebruikt wordt, zonder vertraging in de tijd. Dit is anders bij hogere frequenties waarbij de ene reeks een paar dagen sneller reageert dan de andere.
- Bij de detectie van niet-plausibele waarden kan dat aan beide reeksen liggen
- Bij missende waarnemingen bij de input reeks kan het model niet worden gebruikt.

A8. Simultane tijdreeksmodellering

Het tijdreeksmodel met het neerslagoverschot (punt A5) kan ook simultaan worden toegepast op meerdere stijghoogtereeksen. De component als gevolg van de ruis wordt hierbij gesplitst in één of meer ruimtelijk samenhangende componenten en een locale component die per voor elke reeks uniek is. De essentie hierbij is dat extreme waarden in de ruimtelijk samenhangende componenten duiden op een daadwerkelijk opgetreden extreme stijghoogte, terwijl echte meetfouten zich manifesteren in de locale component.

A9. Ruimtelijk patroon

We kunnen de waarnemingen van verschillende reeksen op een bepaalde datum ook in de ruimtelijke context beoordelen. Als voorbeeld nemen we hier de toets tegen de regiem curve. De toetsingsgrootheid voor een waarneming op een locatie k in het maand m is dan:

$$T_{k,t} = h_{k,t} - \bar{h}_m \quad (\text{A21})$$

Stel dat er M stijghoogte reeksen is een ruimtelijke eenheid zijn, dan kan het ruimtelijk gemiddelde en de ruimtelijke standaardafwijking van de toetsingsgrootte met eenvoudige worden berekend met:

$$\bar{T}_t = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M T_{k,t} \quad (\text{A22})$$

en

$$\sigma_{T_t} = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (T_{k,t} - \bar{T}_t)^2} \quad (\text{A23})$$

Ruimtelijke extremen op een bepaalde datum kunnen nu worden gedetecteerd met:

$$-3\sigma_{T_t} \leq (T_{k,t} - \bar{T}_t) \leq 3\sigma_{T_t} \quad (\text{A24})$$

Voor de toetsingsgrootte kunnen alle voorgaande testen worden gebruikt.

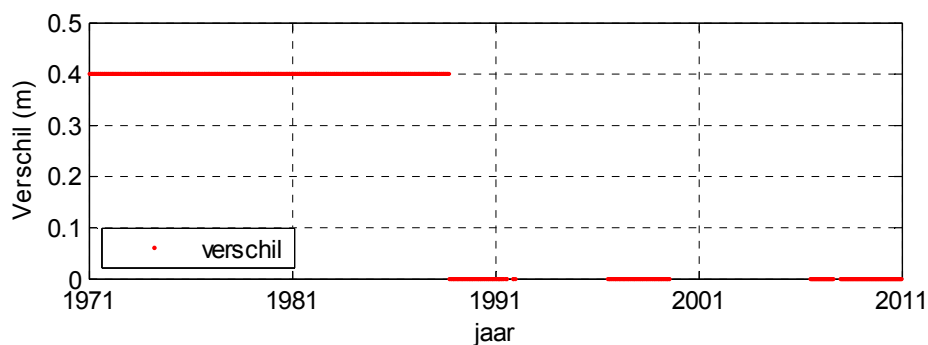
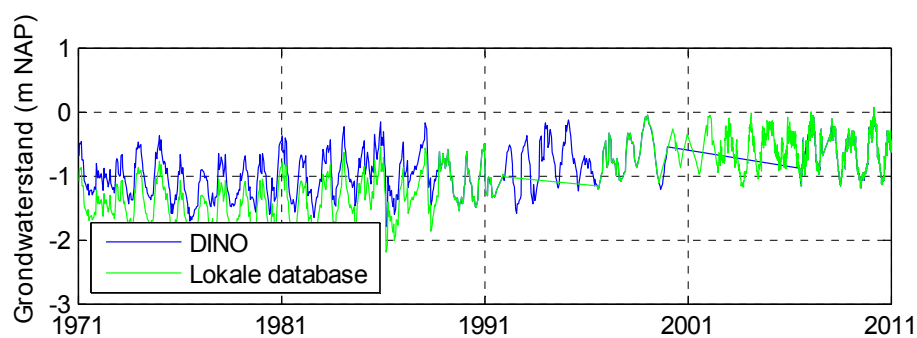
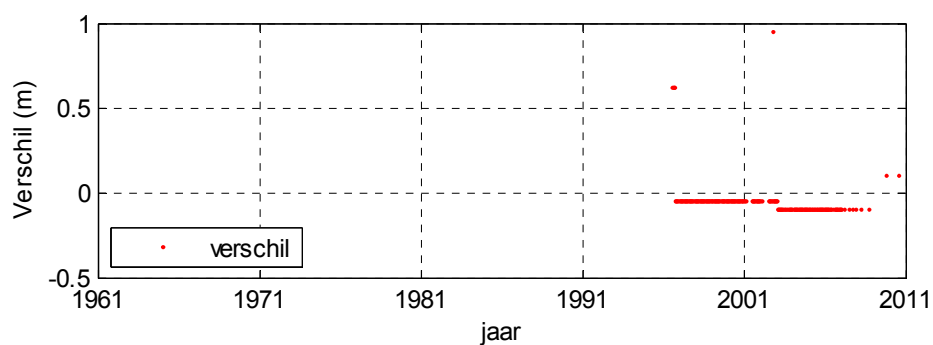
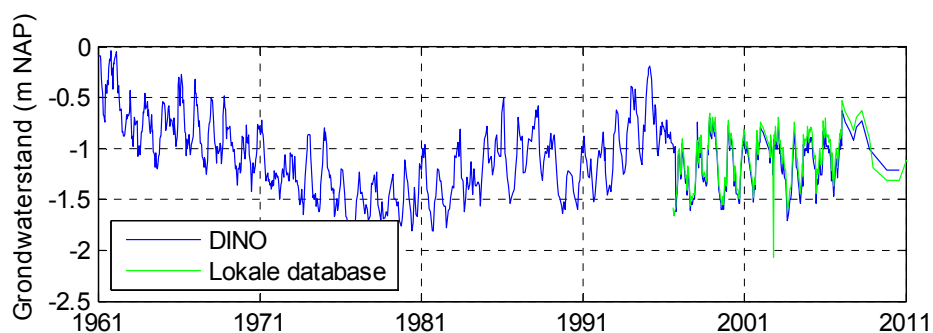
Aandachtspunten:

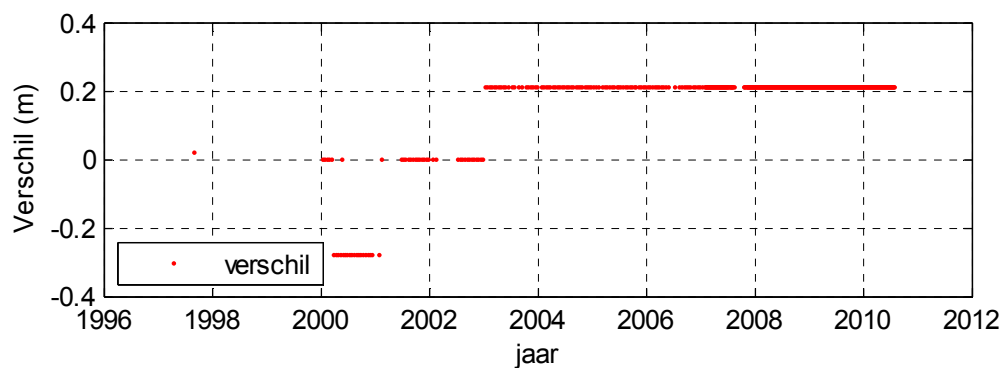
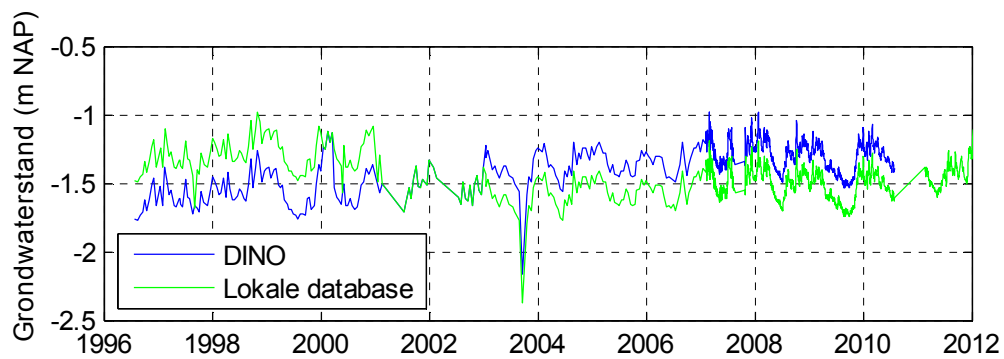
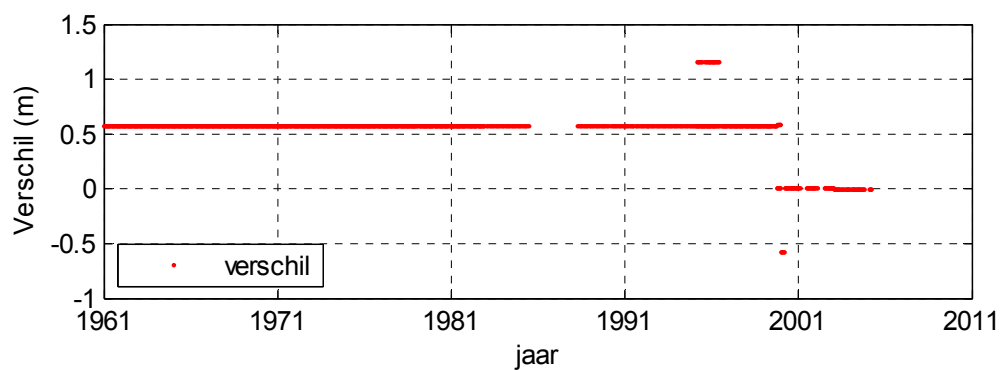
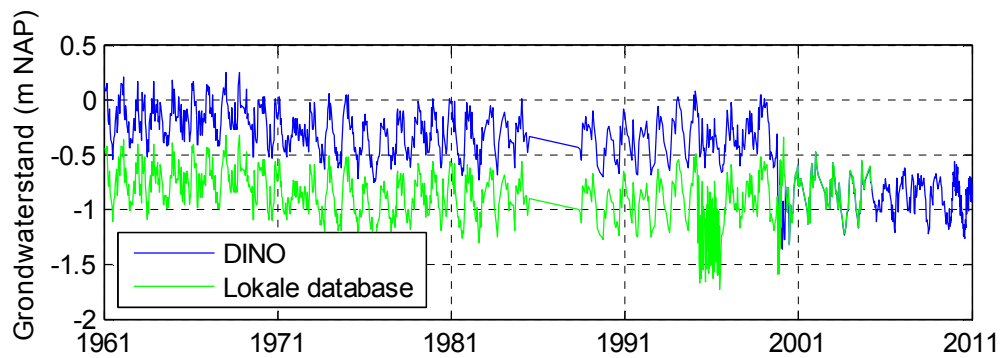
- Eenmalig zal uitgezocht moeten worden welke stijghoogtereeksen er in de ruimtelijke analyse betrokken worden.
- In het geval de amplitude van de stijghoogtereeksen verschilt, is het beter om de toetsingsgrootte te normeren met de standaardafwijking van die reeks.

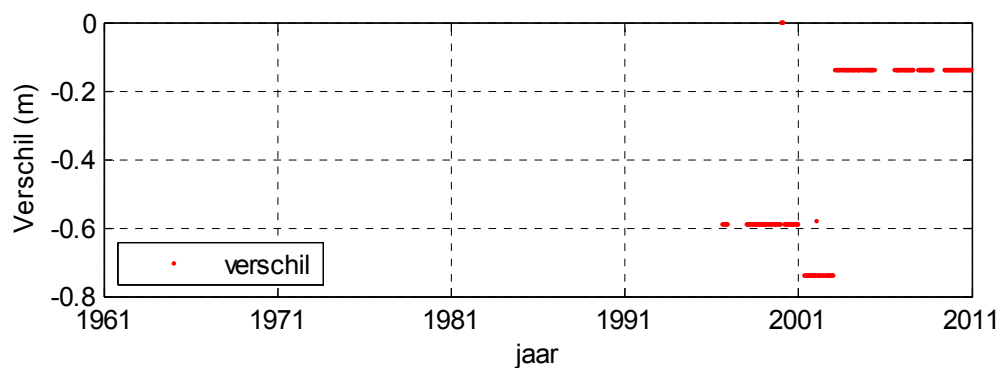
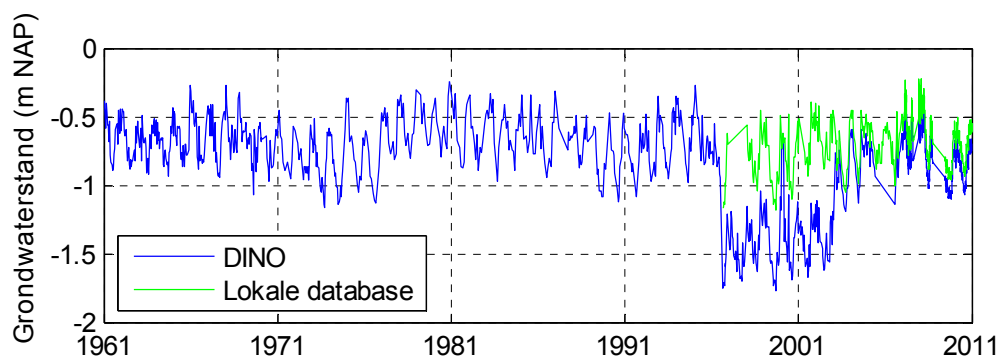
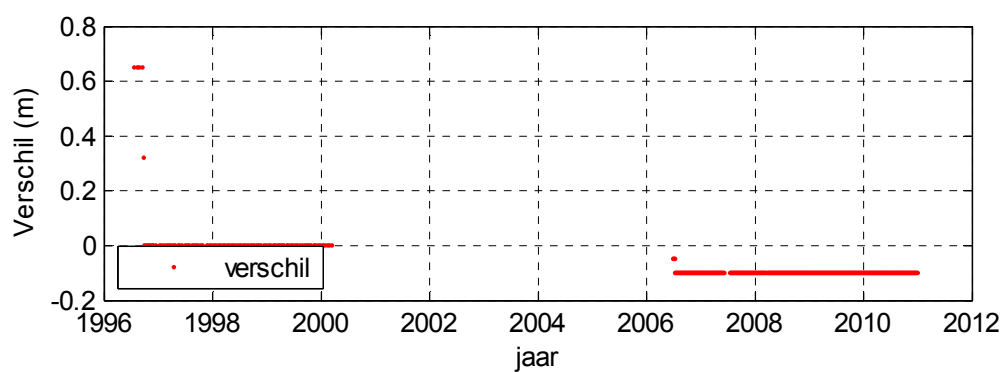
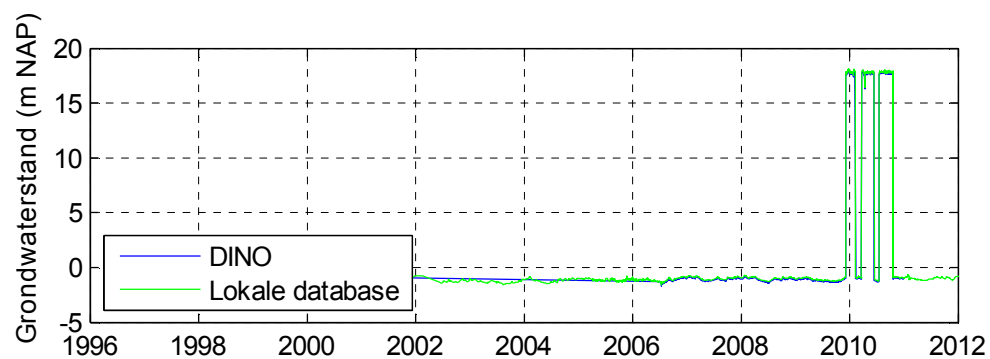
Bijlage B. Begeleidingsgroep

Type	Organisatie	Persoon	Deelname
Provincie	Provincie Drenthe	B. Luinge	Ja
Provincie	Provincie Flevoland	J. de Ridder	Agenda
Provincie	Provincie Gelderland	H. Kempen	Ja
Provincie	Provincie Groningen	G.J. Steenbergen	Ja
Provincie	Provincie Fryslân	A. Venema	Agenda
Provincie	Provincie Fryslân	D.S. van Buren	Agenda
Provincie	Provincie Limburg	J. Hacking	Ja
Provincie	Provincie Noord-Brabant	J. Bauwens	Ja
Provincie	Provincie Noord-Holland	L. Reiniers	Ja
Provincie	Provincie Overijssel	Th. de Meij	Ja
Provincie	Provincie Overijssel	J. Gooijer	Agenda
Provincie	Provincie Utrecht	J. van Gelderen	Ja
Provincie	Provincie Zeeland Dienst Ruimte, Milieu en Water	R. Hollebrandse	Ja
Provincie	Provincie Zuid-Holland	J. Meijles	Ja
Waterschap	Wetterskip Fryslân	Dick van Dijk	Agenda
Waterschap	Wetterskip Fryslân	Michiel Bootsma	Agenda
Waterschap	Velt en Vecht	Evelin Bohn	Ja
Waterschap	Rivierenland	Heino Niewold	Ja
Waterschap	Reest en Wieden	Johan Schadenberg	Ja
Waterschap	Hoogheemraadschap van Delfland	Peter Beukema	Agenda
Waterschap	Hunze en Aa's	A. Siebring	Agenda
Waterschap	Hunze en Aa's	H. Jager	Agenda
Waterschap	Hunze en Aa's	Anton Bartelds	Agenda
Waterschap	De Dommel	Fons van Hout	Agenda
Waterschap	De Dommel	Rolf Peters	Ja
Waterschap	Aa en Maas	Pim van Santen	Ja
Waterschap	Rijnland	Mark Kramer	Ja
Waterschap	Brabantse Delta	Rutger van Ouwerkerk	Agenda
Waterschap	Roer en Overmaas	Peter Hulst	Agenda
Waterschap	Vallei en Veluwe	Ans Elfrink	Ja
Waterschap	Peel en Maasvallei	Toon Basten	Ja
Waterschap	Scheldestromen	Desirée Uitdewilligen	Agenda
Waterschap	Regge en Dinkel	Jiska Waaijenberg	Ja
Waterschap	Zuiderzeeland.	Ponsteen, Peter	Ja
Waterschap	Noorderzijlvest	Floris Knot	Ja
Waterschap	Noorderzijlvest	Arne Roelevink	Ja
Waterschap	Groot Salland	G. van den Berg (Guus)	Ja
Waterschap	Groot Salland	Francis de Graaf	Ja
Waterschap	Rijn en IJssel	Gert van den Houten	Ja
Waterleidingbedrijf	Oasen	Linda Wubben	Ja
Waterleidingbedrijf	Evides	Jos van Wesel	Ja
Waterleidingbedrijf	Waternet	Philip Nienhuis	Ja
Waterleidingbedrijf	Waternet	Ab Visser	Ja
Waterleidingbedrijf	Brabant Water	Jeroen Castelijns	Ja
Waterleidingbedrijf	PWN	Igor Mendizabal	Ja
Waterleidingbedrijf	WMD	Nico van der Moot	Ja
Waterleidingbedrijf	WML	Birgitta Putters	Ja
Waterleidingbedrijf	Vitens	Ate Oosterhof	Ja
Waterleidingbedrijf	Vitens	Ton Ebbing	Ja
Waterleidingbedrijf	Vitens	Jan Hoogendoorn	Agenda
Waterleidingbedrijf	Dunea	Bas Baartman	Ja
Waterleidingbedrijf	PIDPA	Caroline Vlieghe	Agenda
Waterleidingbedrijf	PIDPA	Karel de Mey	Agenda
Gemeente	Utrecht	Arjen Kruithof	Ja
Gemeente	Nijmegen	Ing. A. (Alireza) Toosy	Ja
Gemeente	Harderwijk	Mahatma Geerdink	Ja
Gemeente	Rotterdam	Jeroen Prins	Ja
Natuurbeheer	Natuurmonumenten	Nicko Straathof	Agenda
Natuurbeheer	Natuurmonumenten	Corine Geujen	Agenda
Natuurbeheer	Natuurmonumenten	Klaas Vermeulen	Ja
Natuurbeheer	Staatsbosbeheer	Berg, Andrea van den	Ja
Natuurbeheer	Staatsbosbeheer	Cor Beets	Ja
Natuurbeheer	Staatsbosbeheer	Marieke van Gerven	Agenda
Expert	Alterra	Martin Knotters	Agenda
Expert	.Maas GA	Kees Maas	Agenda
Expert	Icastat	Paul Baggelaar	Ja
Instituut	RIVM	Hans Reijnders	Ja
Instituut	Deltares	Wim de Lange	Ja
Instituut	TNO	Hans van der Meij	Ja
Uitvoering	TNO	Frans van Geer	Ja
Uitvoering	KWR	Martin de Haan	Ja
Uitvoering	KWR	Jos von Asmuth	Ja

Bijlage C. Voorbeelden van inconsistenties tussen databases







Bijlage D. Literatuur

- Berendrecht, W.L. (2004)** State space modeling of groundwater fluctuations; Phd thesis, Delft University of Technology, Delft.
- Bouma, J., M. Maasbommel en I. Schuurman (2012)** Handboek meten van grondwaterstanden in peilbuizen; rapportnr. 2012-50 STOWA, Amersfoort.
- Carr, J.J. (1993)** Sensors and Circuits; Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- De Meij, T. en J. R. Von Asmuth (2011)** Correctie van eigen luchtdrukmetingen is noodzakelijk; in: *H2O*, jrg 4, pag 29-32.
- EEA (2010)** Waterbase - Groundwater Version 10, Quality control documentation; European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.
- European Communities (2003)** Common Implementation Strategy For The Water Framework Directive (2000/60/EC), Monitoring under the Water Framework Directive; WFD CIS Guidance Document No. 7, Working Group 2.7 - Monitoring, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- European Communities (2007)** Common Implementation Strategy For The Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance on Groundwater Monitoring; WFD CIS Guidance Document No. 15, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Goering, T. (2009)** Groundwater level data processing and validation, Standard Operating Procedure; SOP-5230, Waste and Environmental Service Division, Los Alamos National Laboratory,
- ISO/TR 23211:2009 (2009)** Hydrometry - Measuring the water level in a well using automated pressure transducer methods; ISO copyright office, Geneva, Switzerland.
- Knotters, M. en P. E. V. Van Walsum (1997)** Estimating fluctuation quantities from time series of water-table depths using models with a stochastic component; in: *Journal of Hydrology*, jrg 197, pag 25-46.
- McLaughlin, D.L. en M. J. Cohen (2011)** Thermal artifacts in measurements of fine-scale water level variation; in: *Water Resources Research*, jrg W09601, nr 47, pag doi:10.1029/2010WR010288.
- NEN 5766 (2003)** Bodem - Plaatsing van peilbuizen ten behoeve van milieukundig bodemonderzoek; Normcommissie 390 009 "Bodemkwaliteit", Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- NEN-ISO 21413 (2005)** Metingen aan grondwater - Handmatig meten van het grondwaterpeil in putten (ISO 21413:2005,IDT); Normcommissie 351 222 "Hydrometrie", Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- Post, V.E.A. en J. R. Von Asmuth (in print)** Hydraulic head measurements: New technologies, classic pitfalls; in: *Hydrogeology journal*
- 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.; Alterra-rapport 2345, Alterra, Wageningen.
- Sluijter, R. en J. Nellestijn (2002)** Klimaatatlas van Nederland, de normaalperiode 1971-2000; uitgeverij Elmar, Rijswijk.
- Sorensen, J.P.R. en A. S. Butcher (2011)** Water Level Monitoring Pressure Transducers-A Need for Industry-Wide Standards; in: *Ground Water Monitoring & Remediation*, jrg doi: 10.1111/j1745-6592.2011.01346.x, pag 1-7.
- Van der Meij, J.L. en G. J. Van der Meer (2010)** Kwaliteitsborging van meetgegevens van het grondwater in DINO; rapport nr. TNO-034-UT-2010-00635, TNO Bouw en Ondergrond, Utrecht.
- Van der Sluijs, P. en J. J. De Gruijter (1985)** Water table classes: a method to describe seasonal fluctuation and duration of water tables on Dutch soil maps ; in: *Agricultural Water Management*, jrg 10, pag 109-125.
- Van Geer, F.C. (2012a)** Validatie en Plausibiliteit Stijghoogte Observaties; TNO-rapport, TNO, Utrecht.
- Van Geer, F.C. (2012b)** Bepaling van regiemcurves en dynamische karakteristieken van stijghoogtereeksen met een variabele frequentie; TNO-rapport R10803, TNO, Utrecht.
- Versteeg, R. en B. De Graaff (2009)** Validatieplan waterkwantiteitsmetingen; rapportnummer 2009-20, Stowa, Utrecht.
- Vishay Precision Group (2010)** Single Point Load Cell, Model 1265, Features and Specifications; Document Number: 12061, Vishay Precision Group, Malvern, USA.

- Von Asmuth, J.R. (2011)** Over de kwaliteit, frequentie en validatie van druksensorreeksen On the quality, frequency and validation of pressure sensor series (in Dutch); Rapportnr. KWR 2010.001, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Von Asmuth, J.R. en M. Knotters (2004)** Characterising spatial differences in groundwater dynamics based on a system identification approach; in: *Journal of Hydrology*, jrg 296, nr 1-4, pag 118-134.
- Von Asmuth, J.R. en I. Leunk (2012)** Winterpeilaanpassing Veerse Meer. (Niet-lineaire) hydrologische situatie en effecten op watervoerend pakket en deklaag; Rapportnr KWR 2012.091, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Von Asmuth, J.R., C. Maas, M. Knotters, M. F. P. Bierkens, M. Bakker, T. N. Olsthoorn, D. G. Cirkel, I. Leunk, F. Schaars en D. C. Von Asmuth (2012)** Software for hydrogeologic time series analysis, interfacing data with physical insight; in: *Environmental Modelling & Software*, jrg 38, pag 178-190, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.06.003>.
- Van Geer, F.C. en J. R. Von Asmuth (2012)** Projectvoorstel: (Geautomatiseerde) Validatie en Kwaliteitsborging Stijghoogtereeksen – Fase 1; Memo TNO / KWR Watercycle Research Institute, Utrecht / Nieuwegein.
- Werkgroep validatie (2012)** Validatieprocedure drukopnemers grondwater; Vitens, Zwolle.
- Ziemer, R.E., W. H. Tranter en D. R. Fannin (1998)** Signals and systems: continuous and discrete; Prentice-Hall, Upper Saddle River.

