

A hand with a black watch on the wrist points towards the upper right corner of a map. The map features a grid of blue lines and is overlaid with a color gradient from light blue to yellow. The hand is wearing a dark grey sleeve.

KWR 2020.005 | April 2020

Beoordeling van trends in de stijghoogte t.b.v. de KRW

Herziening van en toelichting op de methodiek

Beoordeling van trends in de stijghoogte t.b.v. de KRW

Herziening van en toelichting op de methodiek

KWR 2020.005 | April 2020

Opdrachtnummer

402727

Projectmanager

dr. E. (Edu) Dorland

Kwaliteitsborger

drs. P.K. (Paul) Baggelaar (PB Icastat),
dr.ir. R.P. (Ruud) Bartholomeus (KWR)

Opdrachtgevers

ir. C.J. (Ronnie) Hollebrandse (Provincie Zeeland),
mede namens de andere provincies

Auteur

dr. ir. J.R. (Jos) von Asmuth (Trefoil Hydrology)

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



KWR 2020.005 | 2020 © KWR

All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced, stored in an automatic database, or transmitted, in any form or by any means, be it electronic, mechanical, by photocopying, recording, or in any other manner, without the prior written permission of the publisher.

Inhoud

1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding en achtergrond	4
1.2	Doelstelling en randvoorwaarden	4
1.3	Praktijktest en toepassing	5
1.4	Leeswijzer	5
2	De KRW-richtlijn	6
2.1	Inleiding	6
2.2	Passages uit het Guidance Document	6
2.3	Interpretatiekwesaties en complicaties	8
3	Bestaande methoden en beoordelingen	14
3.1	Inleiding	14
3.2	Aanpak en inzet tijdreeksmodel	14
3.3	Trendtoetsing	15
3.4	Oordeel per grondwaterlichaam	17
3.5	Visualisatie en implementatie	22
4	Herziene methode op hoofdlijnen	25
4.1	Inleiding	25
4.2	Rol van trendbeoordeling	25
4.3	Aanpak en inzet tijdreeksmodel	27
4.4	Trendtoetsing	28
4.5	Oordeel per grondwaterlichaam	29
5	Visualisatie en implementatie	34
5.1	Inleiding	34
5.2	Visualisatie	34
5.3	User Interface en functies	36
6	Conclusies en aanbevelingen	39
6.1	Hoofdlijn herziene methode	39
6.2	Vervolgstappen	40
7	Literatuur	41
	Bijlage A: Berekening periodegemiddelde met variantie	43

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en achtergrond

Dit rapport bevat de beschrijving, toelichting en achtergronden van de methodiek voor het beoordelen van de grondwaterlichamen van Nederland op trends in de stijghoogte, ten behoeve van de Kaderrichtlijn Water (KRW). Aanleiding om de trendbeoordelingsmethodiek te herzien zijn (onder andere) de ervaringen die zijn opgedaan bij het beoordelen van trends in de stijghoogtes van het Maasstroomgebied in 2017. Het Maasstroomgebied valt onder verantwoordelijkheid van de provincies Noord-Brabant en Limburg. De methoden en aanpak die in 2017 gehanteerd zijn, zijn omwille van de vergelijkbaarheid gelijk gehouden aan degene die bij het beoordelen van het Maasstroomgebied in 2012 gevolgd zijn (Verhagen e.a., 2012). Bij de toepassing in 2017, kwamen echter verschillende kanttekeningen aan het licht t.a.v. de methodiek, praktijk en interpretatie. De ervaringen en aanbevelingen zijn beschreven en terug te vinden in de verschillende rapporten van dat project (Leunk en van Doorn, 2017; van Doorn en Leunk, 2017; Von Asmuth en Van Doorn, 2018). Bij de eerdere beoordelingsronden in 2013 zijn in andere delen van Nederland nog andere beoordelingsmethoden gebruikt in (Leunk, 2013a, 2013b).

De Landelijke Werkgroep Grondwater (LWG) heeft in 2019 de taak op zich genomen om het KRW-protocol voor toestand- en trendbeoordeling en het bijbehorende draaiboek voor monitoring in zijn geheel te herzien (LWG, 2013a, 2013b, 2019). In het kader daarvan is ook de trendbeoordelingsmethodiek herzien en geüniformeerd, in overleg met de LWG.

1.2 Doelstelling en randvoorwaarden

Door de LWG zijn de volgende doelen en randvoorwaarden gesteld m.b.t. de beoogde herziening en verbetering van de methodiek:

- a) De consequenties van eventuele verbeteringen en verschillen tussen de oude en nieuwe toetsing moeten helder zijn.
- b) Verbeteringen dienen vooral een eenduidige en logische beoordeling op grondwaterlichaamniveau op te leveren. De signaalfunctie die uitgaat van de beoordeling ('wel of geen trend') dient in samenhang met de waterbalans- en intrusietest tot een correct oordeel te leiden.
- c) Uitwerking en toepassing van de methode moet in beperkte tijd te realiseren zijn.
- d) Besluitvorming over het vernieuwen van de methode vindt plaats in de LWG.

Doel van het onderhavige rapport is het beschrijven en toelichten van de herziene methodiek, en de verbeteringen daarvan die zoals gezegd hebben plaatsgevonden in het kader van de algehele herziening van het KRW-protocol voor toestand- en trendbeoordeling (LWG, 2019). Het nieuwe KRW-protocol bevat logischerwijze zelf ook een beschrijving van de herziene trendbeoordelingsmethodiek, maar het gaat daar om een beschrijving op hoofdlijnen die

gericht is op de (protocollaire) toepassing daarvan. Het onderhavige rapport beschrijft in aanvulling daarop de overwegingen en verdere details met betrekking tot de eerdere en nieuwe methodiek, met als doel deze laatste verder te onderbouwen, verhelderen, uniformeren en te voorzien van achtergronden en kanttekeningen.

Een niet onbelangrijk deel van de doorgevoerde verbeteringen en verhelderingen heeft betrekking op de praktische implementatie van de methodiek, incl. de visualisatie en automatisering daarvan. De resulterende broncode is *open source* beschikbaar op Github via <https://github.com/PlatformMeetnetbeheerders/WFDGroundwaterHeadTrendAssesment>.

1.3 Praktijktest en toepassing

De herziening van de trendbeoordelingsmethodiek heeft parallel en gelijktijdig plaatsgevonden met het toepassen ervan in de resterende deelgebieden van de lopende KRW-beoordelingscyclus. Door de herziening en toepassing te combineren, konden de beoogde verbeteringen direct in de praktijk gebracht en uitgetest worden. Bij de genoemde toepassing gaat om het om de trendbeoordeling en tijdstijghoogte-analyse van de deelgebieden West-, Noord-, en Oost-Nederland en het Scheldestroomgebied. De resultaten daarvan zijn beschreven en gedocumenteerd in een afzonderlijk rapport (Clevers en Von Asmuth, 2020), en worden hier waar nuttig gebruikt ter illustratie van de herziene methode.

1.4 Leeswijzer

De opbouw van dit rapport is dusdanig gekozen dat deze zo goed mogelijk voldoet aan de genoemde randvoorwaarde van de LWG dat de consequenties van de verschillen tussen de oude en nieuwe toetsing helder moeten zijn. De basis van de trendbeoordeling is uiteraard de KRW-richtlijn zelf, die allereerst aan de orde komt in hoofdstuk 2. Het hoofdstuk daarna schetst de methoden en aanpak zoals die gekozen en ontwikkeld zijn voor eerdere beoordelingen, en de verschillen daartussen. Hoofdstuk 4 beschrijft vervolgens de hoofdlijnen van de herziene methode, inclusief overwegingen bij de keuzes die gemaakt zijn. Hierna behandelt hoofdstuk 5 de visualisatie en implementatie van de herziene methode, en hoofdstuk 6 tenslotte de conclusies en aanbevelingen.

2 De KRW-richtlijn

2.1 Inleiding

De informatie en richtlijnen die de Kaderrichtlijn Water (KRW) of Water Framework Directive (WFD) geeft voor het beoordelen van de toestand en trend van grondwaterlichamen zijn terug te vinden in de volgende, afzonderlijke richtlijn of Guidance Document over dit onderwerp:

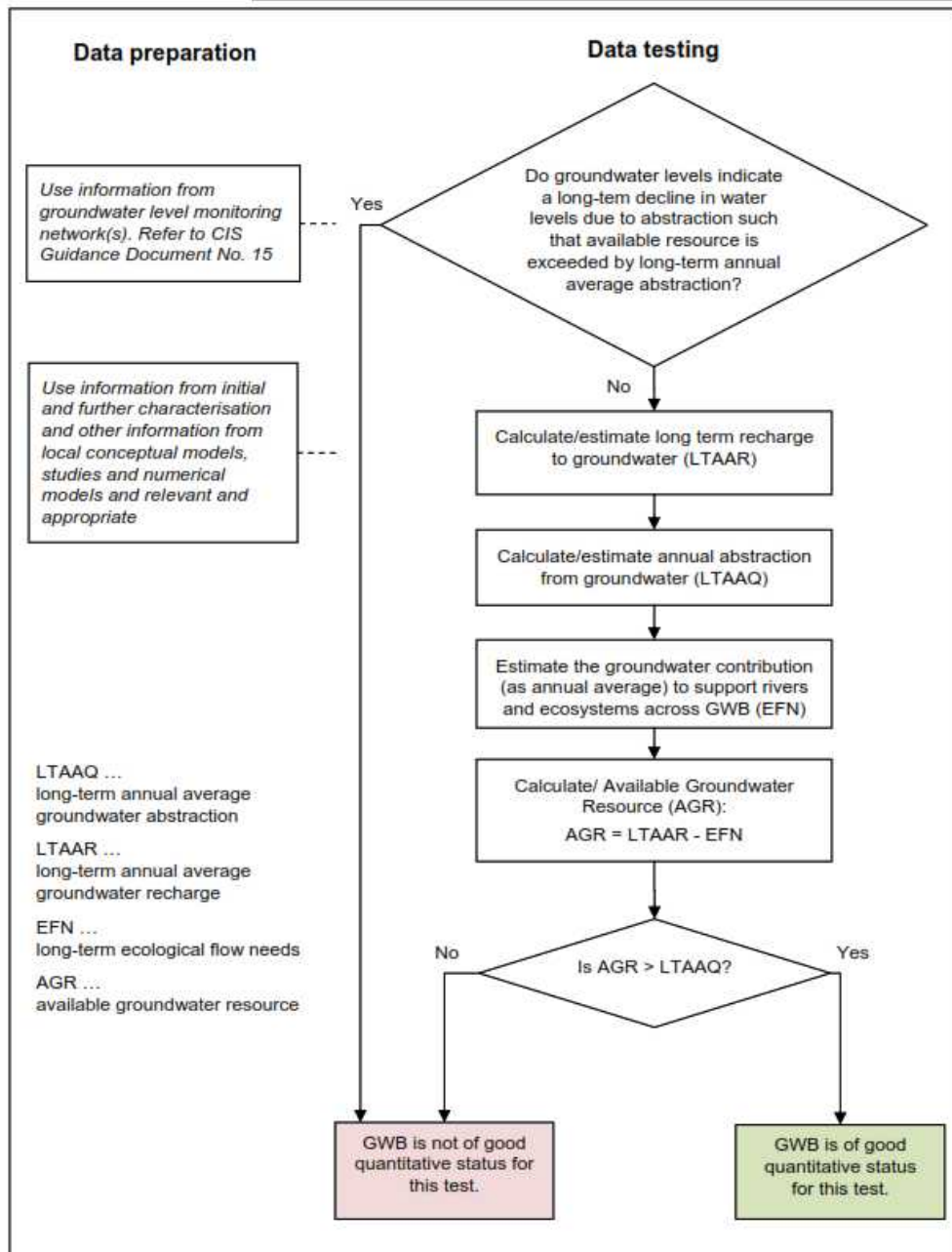
- WFD CIS Guidance Document No. 18: Guidance on Groundwater Status and Trend Assessment (European Communities, 2009)

Guidance Document no. 18 is onderdeel van de 'Common Implementation Strategy (CIS)' van de KRW, dat als doel heeft om de coherentie en uniformiteit van de implementatie van de KRW te vergroten. Deze CIS is wettelijk niet bindend, maar vormt een weerslag van de consensus binnen de Europese Unie over 'Best Practices' met betrekking tot het onderwerp. Deze KRW-richtlijn is vertaald in en vormt de basis van het KRW-protocol voor toestand- en trendbeoordeling van de Landelijke Werkgroep Grondwater (LWG, 2013b, 2019).

Een deel van de in paragraaf 1.1 genoemde kanttekeningen t.a.v. de methodiek, praktijk en interpretatie heeft te maken met de inhoud en tekst van de KRW-richtlijn zelf. We citeren in de volgende paragrafen allereerst de relevante passages uit Guidance Document no. 18, en gaan vervolgens in op de interpretatiekwesties en complicaties die spelen daaromtrent.

2.2 Passages uit het Guidance Document

Figuur 1 toont een stroomschema uit het Guidance Document, dat de procedure voor de toestand en trendbeoordeling van grondwaterkwantiteitsgegevens samenvat. We citeren hier de relevante paragrafen uit het Guidance Document m.b.t. dit onderwerp, waarbij we de belangrijkste passages onderstrepen:



Figuur 1: Stroomschema uit Guidance Document no. 18, dat de procedure voor het beoordelen van grondwaterlichamen op hun toestand en trend m.b.t. waterkwantiteit samenvat.

Section 5.1 Definition of Good Quantitative Status

...good groundwater quantitative status is achieved when:

“The level of groundwater in the groundwater body is such that the available groundwater resource is not exceeded by the long term annual average rate of abstraction’. Accordingly, the level of groundwater is not subject to anthropogenic alterations such as would result in:

- failure to achieve the environmental objectives specified under Article 4 for associated surface waters;
- any significant diminution in the status of such waters; and
- any significant damage to terrestrial ecosystems which depend directly on the groundwater body

Section 5.3.1 Test: Water Balance (GWB scale)

...Where reliable information on groundwater levels across the GWB are available, these data can be used to identify the presence of a sustained long-term decline in water levels caused by long/-term groundwater abstraction. Where such a decline is present it will indicate that the conditions for good status are not being met and the body will be of poor status. However, water levels may not on their own provide a reliable classification and so an alternative is to carry out a water balance assessment.

ANNEX 2: THE USE OF GROUNDWATER LEVEL MONITORING IN STATUS ASSESSMENT

...We consider that groundwater levels alone should not be determinative of quantitative status.

...Water balance element: If groundwater levels are falling in a sustained long-term manner, this will confirm that more water is being abstracted than is recharged during the period of the record, thereby indicating poor status from this element. However, long-term, sustained water levels do not necessarily indicate good status, since the water required to maintain this constant level could be drawn from surface water, potentially causing ecological damage.

... GWDTE element: The groundwater level at or around terrestrial ecosystems is fundamental for improving the conceptual model of how a GWDTE functions. It is an essential tool to confirm groundwater connection but there is no single signal from the level monitoring which implies or confirms this. Rather, it is a combination of absolute level measurements, of accounting for variations in the aquifer, wetland strata and the open water area.

...We propose that the best use of level data is to confirm the functioning of the groundwater body and then use the knowledge of how the groundwater body works to determine whether it is in good status or not. Long-term variations in level data will be of most use. If one borehole shows inconsistent data, it may be indicating an area where greater effort needs to be made to understand the functioning of the groundwater flow system.

2.3 Interpretatiekwesaties en complicaties

2.3.1 Doel van de beoordeling

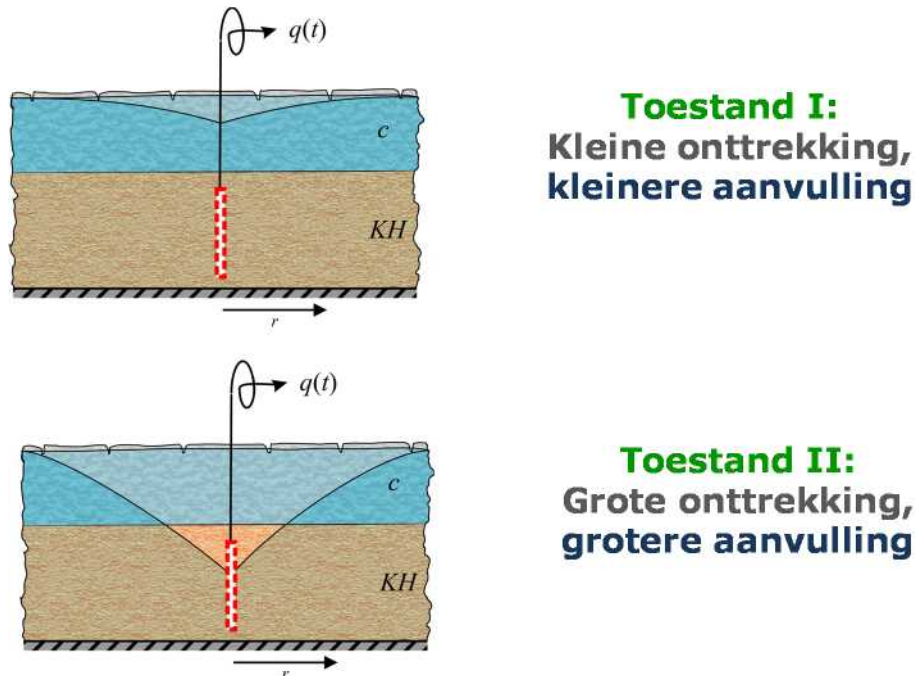
De tekst van Guidance Document no. 18 richt zich met name op het beschrijven en toepassen van de procedure voor de toestand- en trendbeoordeling. Het eerste hoofdstuk ‘1 Purpose and Scope’ van het document gaat dan ook vooral in op de technische en beleidsmatige aspecten

van de beoordeling, niet zozeer op achterliggende doelen ervan. Toch wordt uit de criteria die gebruikt worden voor het beoordelen van de kwantiteit (Figuur 1) wel duidelijk dat de EU daarbij als achterliggende doelstelling heeft het beschermen van de:

- a) Winbare hoeveelheid zoet grondwater – en het voorkomen van uitputting daarvan (zie ook Broers e.a., 2005, Verhagen e.a., 2012).; het kerncriterium bij de beoordeling draait immers om de *available groundwater resource* (AGR) ofwel de hoeveelheid winbaar, zoet grondwater.
- b) Grondwaterafhankelijke natuur – en het voorkomen van aantasting daarvan; de AGR wordt immers berekend als het verschil tussen 1) de grondwateraanvulling en 2) de hoeveelheid grondwater die nodig is voor instandhouding van de grondwaterafhankelijke, terrestrische en aquatische ecosystemen (EFN).

Alhoewel deze doelen op zich helder zijn, treden er bij de uitwerking daarvan al gauw complicaties op, zoals:

- a) Winbare hoeveelheid zoet grondwater – dit is geen vast gegeven; zeker in de Nederlandse situatie is de aanvulling (LTAAR) bijv. direct afhankelijk van de stijghoogte en daarmee van de gewonnen hoeveelheid grondwater (LTAAQ, zie ook Figuur 2). Het grondwater wordt al dan niet ook kunstmatig aangevuld met oppervlaktewater. Van echte uitputting (of 'groundwater mining' zoals dat in aride gebieden wel voorkomt) is in Nederland daarom niet of nauwelijks sprake. Meer specifieke problemen, zoals verzilting of overschrijding van de vergunde hoeveelheden bij bijv. droogte, spelen wel, maar uiten zich in andere vormen.
- b) Grondwaterafhankelijke natuur – gegeven het feit dat er van echte uitputting niet of nauwelijks sprake is, blijft het beschermen van grondwaterafhankelijke natuur als doelstelling over. Complicerend hierbij is dat de *Environmental Flow Needs* (EFN) lastig te kwantificeren en maar in beperkte mate echt bekend zijn. De huidige praktijk bij de trendbeoordeling richt zich daarbij met name op de KRW-meetpunten die grotendeels buiten natuurgebieden liggen. De eventuele trends die zich afspelen in de natuurgebieden zelf, én de relatie met de trends daarbuiten, wordt veel minder expliciet in beeld gebracht (zie ook Broers e.a., 2005).



Figuur 2: Schematische dwarsdoorsnede door een grondwatersysteem in een Holland profiel met kleinere en grotere onttrekking. De available groundwater resource (AGR) en grondwateraanvulling zijn groter bij een grotere onttrekking. Van uitputting is geen sprake, van negatieve effecten op grondwaterafhankelijke natuur en meer specifieke problemen mogelijk wel.

2.3.2 Rol van trends bij de toestandbeoordeling

De wijze waarop de rol van trends bij de toestandbeoordeling is beschreven en uitgewerkt in het Guidance Document, verschilt nadrukkelijk waar het gaat om de onderwerpen grondwaterkwaliteit en grondwaterkwantiteit:

- a) Grondwaterkwaliteit - de beoordeling van trends in de grondwatersamenstelling is uitgewerkt als apart hoofdstuk (6) en beschreven in meer detail, inclusief onderwerpen als meetnetontwerp, methoden voor het toetsen op trends en omkering daarvan, en de relatie tussen trend en toestand.
- b) Grondwaterkwantiteit - de beoordeling van trends in de stijghoogte en grondwaterstand wordt niet apart behandeld, maar wordt gezien en beschreven als onderdeel van de toestandbeoordeling (zie ook Figuur 1). Onderwerpen als meetnetontwerp, methoden voor het toetsen op trends en de relatie tussen trend en toestand, komen niet of nauwelijks aan de orde.

Ten aanzien van de rol van de trendbeoordeling bij het oordelen over de toestand is de tekst daarbij niet altijd even eenduidig. Het (apart) beoordelen van de toestand via een waterbalanstest wordt zowel omschreven als:

- a) Aanvullend – op de beoordeling van de ‘*level of groundwater*’, dat afgaand op de gegeven definitie de eigenlijke basis is van een ‘*Good Quantitative Status*’ (zie paragraaf 5.1 van het Guidance Document)
- b) Alternatief – dat alleen nodig is indien de trendbeoordeling geen ‘*reliable classification*’ oplevert (zie paragraaf 5.3.1 van het Guidance Document)
- c) Noodzakelijk – omdat trendbeoordeling al in beginsel geen uitsluitel zou geven over het al dan niet goed zijn van de toestand, bijv. omdat de grondwaterstand op peil gehouden kan worden via infiltratie van oppervlaktewater en omdat peilbuislocaties niet altijd even representatief zijn (zie Annex 2 van het Guidance Document)

2.3.3 Oorzaak en gevolgen van trends

Waar het in het Guidance Document gaat om trends en de beoordeling daarvan, gaat het niet zozeer om trends in het algemeen maar worden telkens nadere specificaties over zowel de oorzaak als de gevolgen daarvan gegeven. Ook hierbij is de tekst en toelichting op het type trend in kwestie niet geheel eenduidig. Volgens de richtlijn dient een oordeel gegeven te worden over trends die veroorzaakt worden door ofwel:

- a) Grondwateronttrekkingen – die in het bijzonder dusdanig zijn dat de winbare hoeveelheid zoet grondwater (AGR) daarbij overschreden wordt (zie o.a. Figuur 1)
- b) Menselijk handelen – en waarvan de gevolgen in het bijzonder dusdanig zijn dat er schade optreedt aan grondwaterafhankelijke natuur (zie paragraaf 5.1 van het Guidance Document)

De tweede formulering is onderdeel van de ‘*Definition of Good Quantitative Status*’ en zou daarom wellicht als leidend beschouwd mogen worden. Deze formulering is echter tegelijkertijd:

- a) Algemener – omdat daar ook andere factoren onder vallen, zoals bewuste hydrologische maatregelen of wijzigingen in het landgebruik, maar ook onbedoelde effecten zoals klimaatverandering
- b) Kritischer – omdat er zoals betoogd in de Nederlandse situatie niet gauw sprake is van uitputting van de winbare hoeveelheid zoet grondwater (AGR), maar wel van verdroging.
- c) Minder goed toetsbaar – omdat zoals betoogd de *Environmental Flow Needs* (EFN) maar in beperkte mate bekend zijn en de huidige trendbeoordeling zich richt op de KRW-metpunten die grotendeels buiten natuurgebieden liggen

2.3.4 Invloed van meteorologische variatie en klimaatverandering

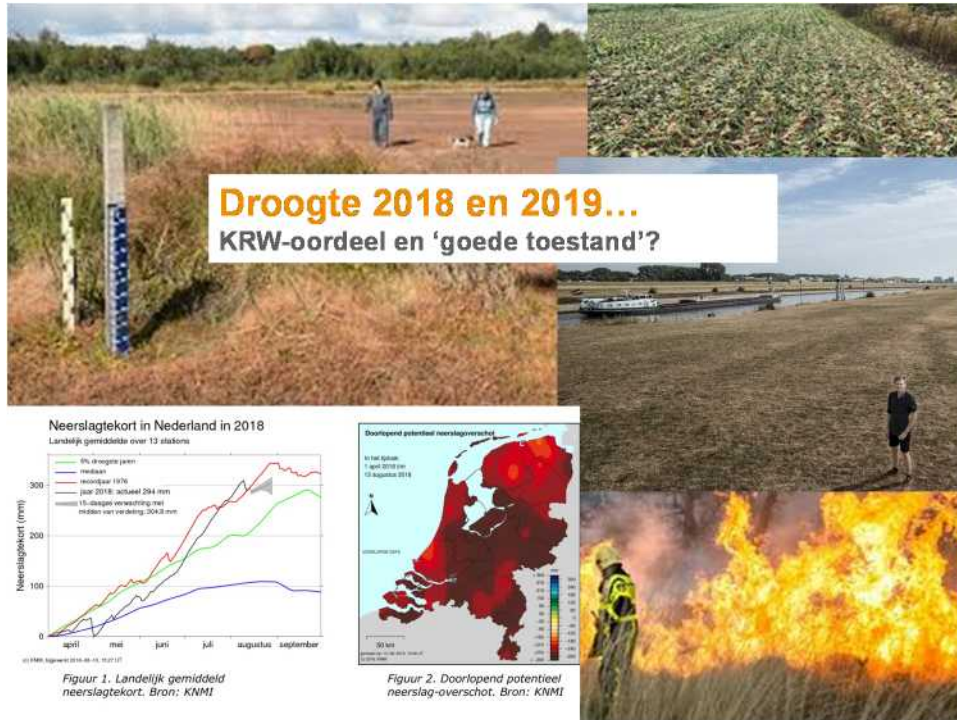
Het moment van publicatie van Guidance Document no. 18 ligt inmiddels alweer 11 jaar achter ons. De tekst en de daarin beschreven procedures zijn ouder dan dat en stammen uit een tijd

waarin de rol van de mens bij klimaatverandering minder algemeen erkend en breed geaccepteerd werd. Omdat de KRW-richtlijn bovendien geen specifieke methode voor trendbeoordeling beschrijft of meegeeft aan de lezer en toepasser ervan, is er in de (Nederlandse) praktijk om min of meer pragmatische redenen gekozen voor een gangbare methode voor het analyseren en beoordelen van stijghoogte- en grondwaterstandsmetingen, zijnde tijdreeksanalyse (zie bijv. (Van Geer e.a., 1988; Rolf, 1989; Von Asmuth, 2012; Leunk, 2013a). In veel toepassingen daarvan worden tijdreeksmodellen ingezet om 'de meetreeks te corrigeren voor de invloed van meteorologische variatie', bijvoorbeeld voor het schatten van klimaatrepresentatieve statistieken (Knotters en Van Walsum, 1997; Van de Wouw, 2000) of omdat de aandacht uitgaat naar de specifieke effecten van één of meer andere factoren (zie bijv. (Baggelaar, 1988; Von Asmuth e.a., 2008; Oberfell e.a., 2016).

Afgaand op de in paragraaf 2.3.1 beschreven doelstellingen van de KRW-beoordeling, is deze pragmatische en staande praktijk zeker geen onbetwistbaar automatisme. Met betrekking tot beide eerdergenoemde oorzaken van trends die de KRW-richtlijn specificceert geldt:

- a) Grondwateronttrekkingen – De winbare hoeveelheid zoet grondwater (AGR) is afhankelijk van aanvulling, meteorologische variatie en klimaat. Bij extreem droge omstandigheden kunnen grondwateronttrekkingen weldegelijk onder druk staan, en bijvoorbeeld de vergunde hoeveelheden overschrijden.
- b) Menselijk handelen – Inmiddels is min of meer onomstreden dat klimaatverandering gekoppeld is aan menselijk handelen (alhoewel de grootte en werking van de antropogene invloed nog verder verhelderd moet worden), én dat er schade optreedt aan o.a. de grondwaterafhankelijke natuur vanwege klimaatverandering.

Alhoewel Guidance Document no. 18 nadrukkelijk uitgaat van '*long term averages*' bij de beoordeling, is het de vraag of de richtlijn op dit punt niet achterhaald is en herzien zou moeten worden. Zoals bekend nemen de extreme omstandigheden toe vanwege klimaatverandering (er treedt een trend op in de frequentie en grootte van extremen, zie bijv. (Van den Besselaar e.a., 2013), met de benoemde gevolgen voor de winbare hoeveelheid grondwater en grondwaterafhankelijke natuur van dien. Het is de vraag of de keuze voor het (uitsluitend) beoordelen van trends in het langjarig gemiddelde in het licht van de huidige kennis en omstandigheden nog steeds wel zo logisch en goed verdedigbaar is (*Figuur 3*).



Figuur 3: De extreme droogte van 2018 en 2019 en de negatieve gevolgen daarvan roepen de vraag op of de KRW-beoordeling niet (mede) op trends in de frequentie en grootte van extremen gebaseerd zou moeten worden (bijv. als onderdeel van stap A, zie paragraaf 4.3).

3 Bestaande methoden en beoordelingen

3.1 Inleiding

Zoals ook beschreven is in paragraaf 1.1, zijn er in het verleden voor verschillende delen van Nederland verschillende methoden gebruikt voor het beoordelen van grondwaterlichamen op de aanwezigheid van trends in de grondwaterstand of stijghoogte. Tenminste een deel van die verschillen is terug te voeren op het feit dat de KRW-richtlijn geen specifieke methode voor trendbeoordeling van stijghoogtegegevens beschrijft of meegeeft aan de lezer of toepasser ervan. De verschillende beoordelingen die tot nu toe hebben plaatsgevonden, zijn uitgevoerd in twee rondes en zijn met aanpak en resultaten al dan niet terug te vinden in:

Periode 2006-2011:

- **Verhagen e.a. (2012)** KRW toetsing grondwater, 2012; Maasstroomgebied. Rapport 9X3355/R0004/900642/AH/DenB, Haskoning Nederland B.V. Water, 's-Hertogenbosch.
- **Leunk (2013)** Tijdreeksanalyse grondwaterstanden en -stijghoogten KRW in West en Midden Nederland; Rapport KWR 2013.099, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- **Leunk (2013)** Tijdreeksanalyse KRW meetnet Noord Nederland 2013; Rapport KWR 2013.055, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- De eerdere beoordeling van het Scheldestroomgebied voor deze periode is door de provincie Zeeland zelf uitgevoerd. Daarvan is geen afzonderlijk rapport verschenen.

Periode 2012-201x:

- **Leunk en van Doorn (2017)** Trendanalyse grondwaterstands- en stijghoogtegegevens Maasstroomgebied (2012-2016); Rapport KWR 2017.046, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- **Clevers en Von Asmuth (2020)** Rapport tijdstijghoogte-analyse West-, Noord-, en Oost-Nederland & Scheldestroomgebied; Rapportnr. KWR 2020.003 KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

We gaan in de onderstaande paragrafen in op de verschillen in methodiek, aanpak en interpretatie daartussen.

3.2 Aanpak en inzet tijdreeksmodel

De methoden en aanpak die in 2017 door Leunk en van Doorn gehanteerd zijn, zijn omwille van de vergelijkbaarheid gelijk gehouden aan degene die bij het beoordelen van het

Maasstroomgebied over de periode 2006 tot 2011 gevolgd zijn (Verhagen e.a., 2012). De beoordeling in 2012 is op zijn beurt weer gebaseerd op eerdere (niet KRW-)beoordelingen van trends in de stijghoogte in 2002 en daarvoor in 1993 (van Geer e.a., 1993; van Geer en Lourens, 2001). Voor het Maasstroomgebied is de trendbeoordeling op één van twee verschillende tijdreeksen uitgevoerd, te weten op:

- a) De tijdstijghoogtemetingen zelf – die ongewijzigd en dus niet gecorrigeerd zijn voor meteorologische variatie. De metingen worden gebruikt indien het resultaat van de tijdreeksanalyse niet door de modelbeoordelingsprocedure komt.
- b) De zogenoemde ‘residuen’ van een tijdreeksmodel – die ‘gecorrigeerd zijn’ voor de invloed van meteorologische variatie. De modelresiduen worden gebruikt indien het resultaat van de tijdreeksanalyse wel door de modelbeoordelingsprocedure komt.

De resultaten van a) en b) zijn daarbij niet vergeleken, maar zijn alternatieven waarvan één van beide wordt gebruikt in het eindoordeel. De aanpak en toegepaste methoden voor de overige stroomgebieden verschilt hiervan. In het kader van de beoordeling van West- en Midden-Nederland zijn twee verschillende trendbeoordelingsmethoden tegelijkertijd uitgevoerd, en met elkaar vergeleken, te weten (Leunk, 2013a):

- a) Het zogenoemde ‘structurele niveau’ van een tijdreeksmodel – dat het gemiddelde niveau van de stijghoogte representeert dat ‘gecorrigeerd is’ voor meteorologische variatie. Dit structureel niveau wordt gebruikt indien het resultaat van de tijdreeksanalyse wel door de modelbeoordelingsprocedure komt.
- b) De zogenoemde ‘residuen’ van een tijdreeksmodel – die ‘gecorrigeerd zijn’ voor de invloed van meteorologische variatie. Beoordeling van de modelresiduen wordt binnen deze aanpak gedaan voor alle tijdreeksmodellen.

Bij deze aanpak wordt dus niet één van beide gebruikt. Het resultaat van a) wordt als leidend gezien, en wordt vergeleken met b) ten behoeve en onderbouwing van de eindbeoordeling. Bij de trendbeoordeling van het KRW-meetnet van Noord-Nederland is daarnaast alleen methode a) gebruikt. Tijdreeksmodellen die niet door de modelbeoordelingsprocedure kwamen zijn voor Noord-Nederland buiten beschouwing gelaten.

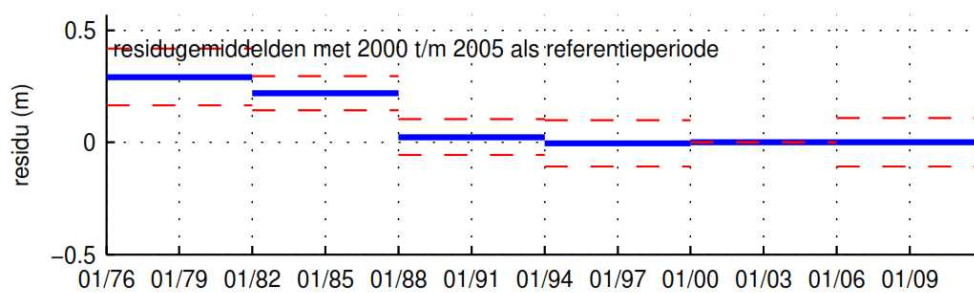
3.3 Trendtoetsing

3.3.1 Verschil in periodegemiddelde

De eerder uitgevoerde beoordelingen verschillen niet alleen qua inzet van tijdreeksmodellen en modelbeoordeling, maar ook m.b.t. de methode van trendschatting en -bepaling. Bij de trendbeoordelingen voor het Maasstroomgebied, is een methode gebruikt die o.a. is beschreven door van Geer en Lourens (2001), zie ook bijlage A. Deze methode is generiek en statistisch van aard, en gebaseerd op een schatting van het gemiddelde van tijdreeksen en de

standaardfout¹ daarvan. De methode houdt rekening met het feit dat tijdreeksen autocorrelatie kunnen vertonen.

De standaardfout van het gemiddelde is een maat voor de bandbreedte waarbinnen de schatting kan afwijken van de werkelijke waarde. Kern van de toetsing is de vraag of het gemiddelde van de tijdreeks in de afgelopen beoordelingsperiode statistisch significant verschilt van het gemiddelde in de referentieperiode. Als nulsituatie of referentieperiode voor de KRW-beoordeling is daarbij de periode van 2000 tot 2006 gekozen. Het eigenlijke criterium is de statistische significantie (op basis van 95% betrouwbaarheid) van het verschil in het gemiddelde tussen beide periodes. De toestand- en trendbeoordeling wordt vervolgens met een 6-jaarlijkse cyclus voor de afgelopen beoordelingsperiode opnieuw uitgevoerd (LWG, 2019). Door deze berekening voor verschillende periodes te herhalen en de resultaten te vergelijken, kan bovendien een oordeel gegeven worden over het al dan niet aanwezig zijn van langjarige trends in het gemiddelde van tijdreeksen.



Figuur 4: Voorbeeld van een (visuele) beoordeling van een tijdreeks (het modelresidu) op significante verschillen in het tijdreeksgemiddelde, en de langjarige ontwikkeling daarvan. De blauwe lijn toont de schatting van het periodegemiddelde, de rode stippellijnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval van het verschil van het periodegemiddelde met dat van de referentieperiode (bron: Verhagen e.a., 2012)

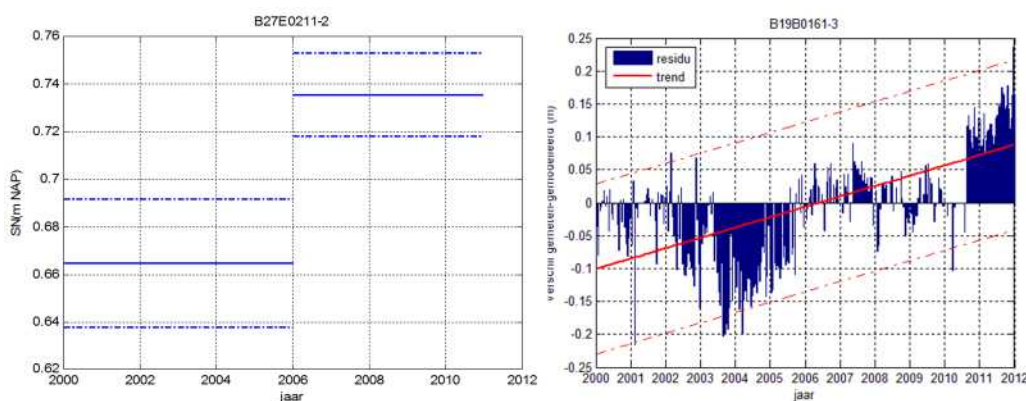
Dit is van belang om eventuele wijzigingen in de trends of juist zich doorzettende verlagingen in beeld te krijgen (Figuur 4).

3.3.2 Andere methoden

Zoals gezegd zijn bij de eerdere beoordeling van de grondwaterlichamen in West-, Midden- en Noord-Nederland twee andere en verschillende methoden uitgevoerd (Leunk, 2013a, 2013b). De methoden verschillen qua inzet van tijdreeksmodellen, maar ook m.b.t de eigenlijke trendtoetsing. De toetsing is bij deze methoden als volgt uitgevoerd (zie ook Figuur 5):

¹ De term 'standaardfout' past bij een schatting. Een schatting is een trekking uit een schatter (een rekenmethode). De trekking levert een verdeling van uitkomsten op, met een gemiddelde en een standaardafwijking. De standaardafwijking van een schatter wordt aangeduid als 'standaardfout'. Bij de verdeling van een variabele zijn de afwijkingen ten opzichte van het gemiddelde slechts het gevolg van natuurlijke variatie, en dus niet op te vatten als fouten. Daar past dan de term 'standaardafwijking'.

- a) **Structureel niveau** – In het rapport wordt een formule gegeven voor het berekenen van de standaardfout van het structureel niveau. Een uitgebreidere afleiding is niet aanwezig, maar het valt op dat de covariantie tussen de verschillende parameters ontbreekt in de formule. Er worden vervolgens een aantal aannamen gedaan om te kunnen toetsen of er sprake is van een verschil. De figuren gaan waarschijnlijk niet uit van een referentieperiode, maar presenteren de individuele betrouwbaarheidsintervallen (details hierover worden niet vermeld).
- b) **Modelresiduen** – ten behoeve hiervan wordt getoetst of er een significante, lineaire trend in de residuen aanwezig is. Een formule voor het eigenlijke toetsingscriterium ontbreekt.



Figuur 5: Voorbeelden en visualisatie van de gehanteerde methoden voor trendtoetsing in West-, Midden- en Noord-Nederland, met links toetsing op basis van het structureel niveau en rechts toetsing op basis van een lineaire trendschatting (bron: Leunk, 2013a, 2013b)

3.4 Oordeel per grondwaterlichaam

3.4.1 Kwaliteitscontrole (QC)

Om tot een verantwoord en representatief eindoordeel per grondwaterlichaam te komen, dienen allereerst de ingrediënten daarvoor de ‘toets der kritiek’ te kunnen doorstaan. Bij deze basis-ingrediënten gaat het om het of de:

- a) **Metingen** – De controle hiervan is in de eerdere KRW-beoordelingen en rapporten niet (goed) gedocumenteerd en/of daar niet (systematisch) uitgevoerd.
- b) **Modellen** – Door Verhagen e.a. (2012) zijn de modellen beoordeeld op de verdampingsfactor, drainage basis en significantie van de verklarende reeksen. In (Leunk, 2013a, 2013b; Leunk en van Doorn, 2017) worden modellen eveneens op verdampingsfactor (maar met andere criteria) en significantie beoordeeld, maar ook op responstijd, verklaarde variantie (> 70%) en hydrologische plausibiliteit.

- c) Meetnet - Dit dient in hydrologische, ruimtelijke en statistische zin voldoende representatief te zijn om op basis daarvan verantwoorde uitspraken te kunnen doen over een grondwaterlichaam als geheel (zie bijv. (De Gruijter e.a., 2006). Statistische representativiteit kan bewerkstelligd worden met een *random* steekproef die gebaseerd is op het verlotingsprincipe, of via stratificatie naar homogene deelgebieden. De meetnetopzet voor het Maasstroomgebied is uitgewerkt en gedocumenteerd door Broers e.a. (2005). Van andere KRW-gebieden is geen documentatie bekend of beschikbaar. Uit de resultaten van de lopende beoordelingscyclus komt naar voren dat:
- o de representativiteit van de meetnetten vaak duidelijk te wensen overlaat, bijv. qua ruimtelijke spreiding;
 - o de modelbeoordeling ervoor zorgt dat representativiteit van de resultaten van stap B (verder) verminderd wordt, omdat met name de meetpunten die (grotere) trends vertonen daarbij wegvallen.

3.4.2 Aggregatiemethode

(Gewogen) middeling

Bij de beoordeling van het Maasstroomgebied zijn de trendoordelen over de verschillende meetlocaties geaggregeerd tot een eindoordeel over het grondwaterlichaam als geheel, door deze te middelen. De individuele trendschattingen zijn daarbij genormeerd dan wel gewogen naar de inverse van hun standaardfout (Broers e.a., 2005; Leunk en van Doorn, 2017). Alhoewel weging er bijv. toe kan bijdragen dat onbetrouwbare, afwijkende schattingen minder zwaar meewegen bij de middeling, wordt een feitelijke argumentatie voor deze keuze, de achterliggende formule of een verwijzing naar of onderbouwing van de berekening niet gegeven. Van Geer en Lourens (2001) passen bij hun eerdere beoordeling daarnaast eenvoudige middeling toe, zonder berekening of weging van de standaardfout. De volgende basisformule voor het berekenen van de variantie van het gemiddelde \bar{x} van twee stochastische variabelen x_1 en x_2 die een verschillende variantie (*var*) hebben bevat geen weging, maar in de laatste term daarvan komt wel de covariantie (*cov*) voor:

$$var(\bar{x}) = var\left(\frac{x_1+x_2}{2}\right) = \frac{1}{2^2}(var(x_1) + var(x_2) + 2 cov(x_1, x_2)) \quad (1)$$

Bij de gewogen middeling die voor het Maasstroomgebied is toegepast kunnen daarmee al met al de volgende kanttekeningen geplaatst worden:

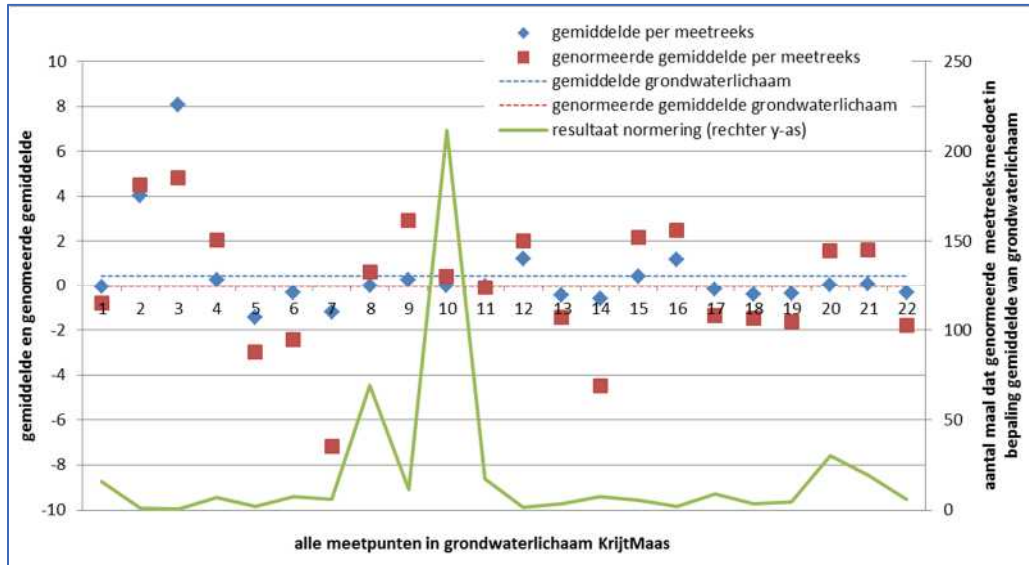
- a) Onevenwichtige bijdrage meetpunten - Leunk en van Doorn (2017) gaan in op consequenties van het toepassen van de weging, en laten zien dat de bijdrage van meetpunten in de eindbeoordeling van grondwaterlichaam KrijtMaas hierdoor meer dan een factor 200 verschilt. Het eindoordeel over het hele grondwaterlichaam wordt hierdoor gedomineerd door de trendschatting op één enkel meetpunt (Figuur 6).
- b) Verwaarlozing ruimtelijke correlatie - Deze wordt (afgaand op het door Leunk en van Doorn (2017) uitgewerkte script) niet meegenomen in de berekening. De ruimtelijke

correlatie of covariantie is in het geval van stijghoogtereeksen echter niet zomaar verwaarloosbaar (zie bijv. van Geer en Lourens, 2001). Het niet verdisconteren daarvan heeft dus gevolgen voor de toetsing op significantie.

Trendtelling

Ook ten aanzien van de manier waarop het trendoordeel op de verschillende meetlocaties is geaggregeerd tot een eindoordeel over het grondwaterlichaam als geheel, verschilt de beoordeling van het Maasstroomgebied van de eerdere van de grondwaterlichamen in West-, Midden- en Noord-Nederland. Ten behoeve van deze laatste beoordelingen is per grondwaterlichaam een trendtelling uitgevoerd van:

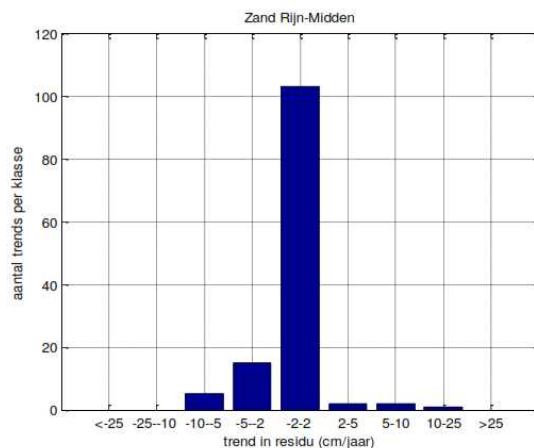
- a) Het aantal (significant) negatieve trends - Dit is uitgevoerd voor de grondwaterlichamen van Noord-Nederland (op basis van het structureel niveau). In het eindoordeel zijn daarbij zowel de grootte van de trend als de positieve trends niet meegenomen.
- b) Het aantal (significante) negatieve en positieve trends - Dit is uitgevoerd voor de grondwaterlichamen van West- en Midden-Nederland (op basis van het structureel niveau en het residu). In het eindoordeel is daar de grootte van de trend in het residu wel meegenomen, door daar histogrammen van te maken.



Figuur 6: Consequenties van het toepassen van weging van de trendschatting per meetreeks, bij het schatten van een gewogen gemiddelde voor grondwaterlichaam KrijtMaas (bron: Leunk en van Doorn, 2017).

Histogram

Voor de grondwaterlichamen in West- en Midden-Nederland tenslotte, zijn ook histogrammen gemaakt van de grootte van de trend in het residu. In deze histogrammen is dan weer het al dan niet significant zijn en de standaardfout van de trend niet meegenomen.

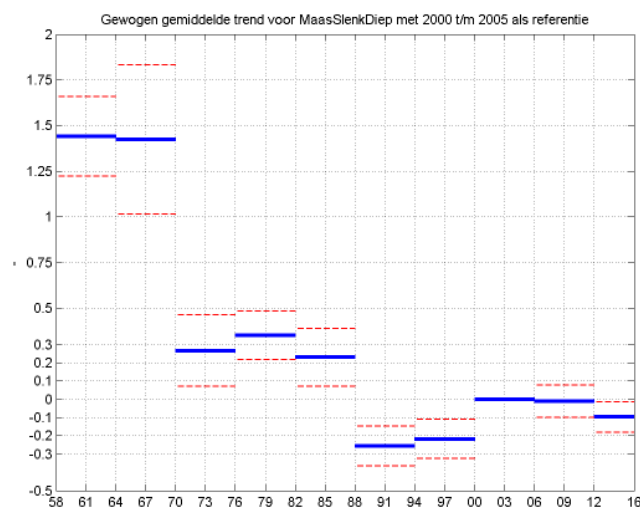


Figuur 7: Histogram van alle schattingen van trends in het modelresidu (al dan niet significant) op de verschillende meetlocaties van grondwaterlichaam Zand Rijn-Midden (bron: Leunk, 2013a).

3.4.3 Criteria

In de vorige paragraaf zijn de gehanteerde methoden besproken waarmee de verschillende resultaten per meetlocatie geaggregeerd zijn tot een overzicht of resultaat voor het grondwaterlichaam als geheel. Parallel daaraan verschilden ook de criteria waarlangs het uiteindelijk eindoordeel geveld is. Dit eindoordeel betreft afhankelijk van de rol van de trendbeoordeling het al dan niet aanwezig zijn van een langjarige daling² in het grondwaterlichaam, dan wel het beoordelen van de toestand daarvan als zijnde goed of niet. Ook hierbij verschilt met name de aanpak voor het Maasstroomgebied van die van de andere. Het gaat bij de gehanteerde criteria en aanpak om:

- Statistische significantie** – zoals beschreven is wordt bij de methode van (gewogen) middeling niet alleen het gemiddelde zelf berekend, maar ook de variantie daarvan. De variantie is vervolgens gebruikt om (expliciet) te toetsen of het grondwaterlichaam ook als geheel een significante trend vertoont of niet.
- Beoordeling ‘op maat’** – voor de beoordeling van de overige grondwaterlichamen is niet één enkel expliciet criterium gehanteerd. De eigenlijke beoordeling heeft plaatsgevonden in onderling overleg en op basis van het histogram en/of de resultaten van de trendtelling, waar significantie deels wel en deels geen rol in speelde.
- Langjarige trend** – naar aanleiding van de significant dalende trend van grondwaterlichaam MaasSlenkDiep die naar voren kwam bij de beoordeling van het Maasstroomgebied (Leunk en van Doorn, 2017) is ook de langjarige trend in beeld gebracht (Figuur 8) als ‘verdieping’ en i.v.m. de achterliggende vraag of er al dan niet uitputting van het winbare grondwater optreedt (Von Asmuth en Van Doorn, 2018).

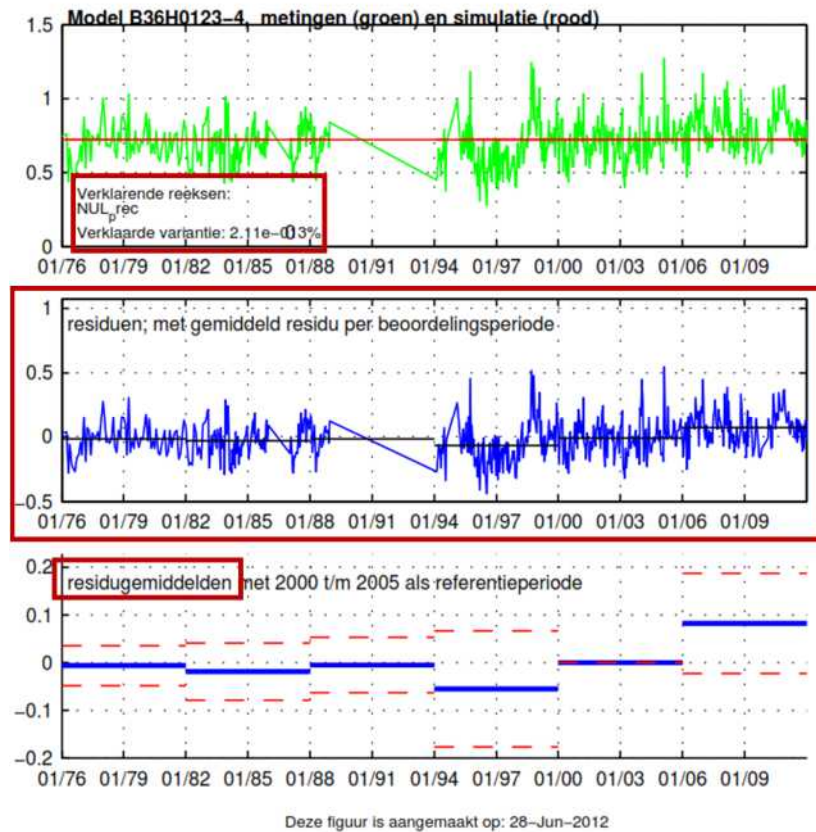


² Indien inderdaad alleen dalende trends van belang zijn, dient eigenlijk eenzijdig getoetst te worden (zie bijlage A). Voor grondwaterafhankelijke natuur kan te sterke vernatting echter ook nadelig uitpakken.

Figuur 8: Langjarige, gemiddelde gewogen trend voor grondwaterlichaam Maas Slenk Diep. De blauwe lijn toont de schatting van het periodegemiddelde, de rode stippellijnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval van het verschil van het periodegemiddelde met dat van de referentieperiode. De langjarige trend maakt duidelijk dat de daling doorzet, maar niet zo sterk als in de jaren negentig.

3.5 Visualisatie en implementatie

Naast de visualisaties die al te zien waren in voorafgaande figuren, geeft Figuur 9 de visualisatie van de beoordeling van de individuele meetpunten voor het Maasstroomgebied weer. Ook hier is de visualisatie voor de periode 2012 tot 2016 bewust (grotendeels) gelijk gehouden aan de eerdere over 2006 tot 2011, omwille van de vergelijkbaarheid. De figuur bestaat uit een drietal deelgrafieken, waarin de kernresultaten en -criteria van de eigenlijke beoordeling op een overzichtelijke en stapsgewijze manier onder elkaar getoond worden. Het probleem dat de trendberekening op verschillende reeksen gebaseerd wordt (afhankelijk van de goed- of afkeuring van het tijdreeksmodel, zie paragraaf 3.2), speelt echter ook de visualisatie parten. In dat geval worden de resultaten gepresenteerd van 'een tijdreeksmodel met alleen een nul als verklarende reeks'. De trendbeoordeling komt dan de facto neer op een beoordeling van de trend in de eigenlijke reeks van stijghoogtemetingen, waarmee termen als 'residu' en 'verklarende reeksen' verwarring scheppen.



Figuur 9: Overzichtelijke en stapsgewijze visualisatie van de beoordeling van het Maasstroomgebied per meetpunt in drie deelgrafieken (bron: Verhagen e.a., 2012). Indien echter de trendbeoordeling de facto neerkomt op een beoordeling van de trend in de eigenlijke reeks van stijghoogtemetingen schept de figuur verwarring (rode kaders, zie toelichting).

Voor toepassing van de methodiek van het Maasstroomgebied (toetsing op verschil in gemiddelde en beoordeling grondwaterlichaam op gewogen gemiddeld) zijn een Excel-sheet en MATLAB-script vervaardigd door RoyalHaskoningDHV en aangeleverd aan KWR t.b.v. de beoordeling over de periode 2012-2016. De resulterende MATLAB-scripts staan hieronder. Het gaat daarbij om de berekening van de gemiddelden en standaardfouten daarvan, niet om de voor- en nabewerking of de visualisatie. De scripts zijn op zichzelf nog niet eenduidig, omdat er geen nadere omschrijving of controle op de eigenschappen van de (invoer)variabelen aanwezig is.

MATLAB-script t.b.v. toetsing op verschil in gemiddelde (bron: Leunk en van Doorn, 2017)

Script	Informatie bij script
<pre>(beoP) : (k=1:size(beoP,1));</pre> <ul style="list-style-type: none"> • MeanRes(k)=mean(resBP); n=length(resBP); • ResAutoCorr=xcorr(resBP,length(resBP),'coeff'); <pre>• ResAutoCorr=ResAutoCorr(length(resBP)+2:end-1);</pre> <ul style="list-style-type: none"> • VarRes(k)=var(resBP)/n*(1 + 2/n * sum((n*ones(n-1,1)-(1:n-1))' * ResAutoCorr)); <pre>dVarRes=VarRes+ones(size(VarRes))*VarRes(refPnum);</pre> <pre>dVarRes(refPnum)=0;</pre> <pre>BetrInt95=1.96*sqrt(dVarRes);</pre>	<p>Informatie bij script</p> <pre>%beop = beoordelingsperiode</pre> <pre>% *resBP bevat de residuen van een beoordelingsperiode</pre> <pre>% autocorrelatie van residuen met ['lag' -n+1] t/m ['lag' n-1]</pre> <pre>% autocorrelatie van residuen met ['lag' 1] t/m ['lag' n-1]</pre> <pre>% conform TNO/Grontmij</pre> <pre>% conform TNO/Grontmij, optellen van variantie van 2 perioden en variantie van referentieperiode op 0 zetten</pre> <pre>% formule conform TNO/Grontmij (LET OP: zij kwadrateren ten onrechte de standaarddeviatie)</pre>

MATLAB-script t.b.v. beoordeling grondwaterlichaam op gewogen gemiddelde (Leunk en van Doorn, 2017)

Script	Informatie bij script
<pre>(beoP) : (k=1:size(beoP,1));</pre> <ul style="list-style-type: none"> ➤ norm_mean(:,1) = mean(:,1)/sqrt(variantie(:,1)); ➤ Stdev_1 = 1/ sqrt(variantie(:,1)); ➤ MEAN = sum(norm_mean)/sum(stdev_1) • MEAN_STDEV = mean(sqrt(variantie(:,1)))/sqrt(n) <pre>• 95PROC= MEAN +/- 1.96 *MEAN_STDEV</pre>	<p>Informatie bij script</p> <pre>%beop = beoordelingsperiode</pre> <pre>% mean = reeks van gemiddelde, variantie = reeks van variantie</pre> <pre>sqrt(variantie(:,1))% bepaling waarde blauwe lijn</pre> <pre>% n = aantal reeksen per grondwaterlichaam</pre> <pre>% bepaling waarde rode lijnen</pre>

4 Herziene methode op hoofdlijnen

4.1 Inleiding

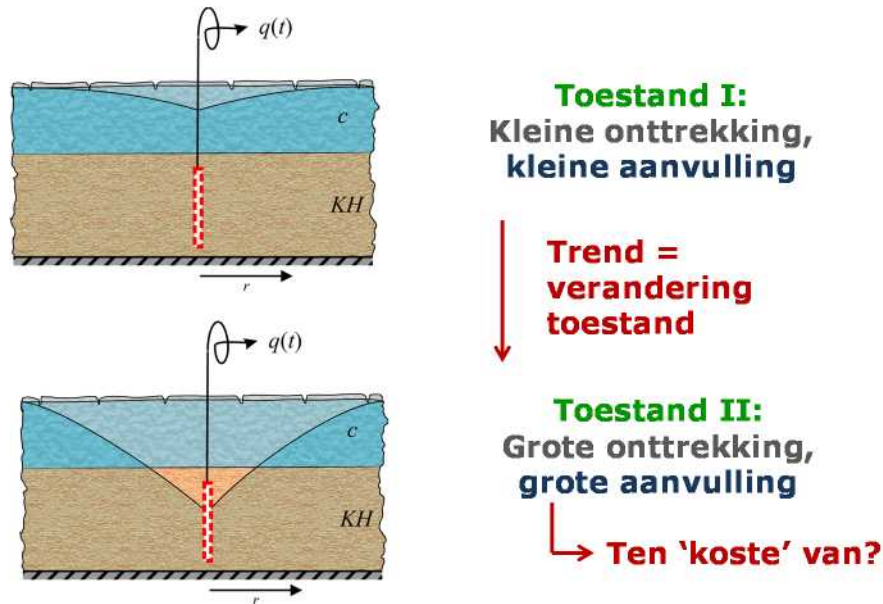
Zoals eerder in paragraaf 1.2 is beschreven heeft herziening van de trendbeoordeling ten doel om een eenduidige en logische beoordeling op grondwaterlichaamniveau op te leveren, in samenhang met de toestandbeoordeling. De uitwerking en toepassing van de methode diende bovendien in beperkte tijd te realiseren zijn, met als belangrijke randvoorwaarde en waarborg hiervoor dat de methode ook daadwerkelijk en parallel toegepast moest worden op de resterende stroomgebieden in Noord-, West- en Midden-Nederland en Zeeland. De subdoelstellingen die hieruit voortvloeiden zijn:

- a) Uniformeren - van de in hoofdstuk 3 beschreven verschillen in de aanpak en toegepaste methoden bij de eerdere beoordelingen.
- b) Oplossen - van de in paragraaf 2.3 beschreven complicaties en interpretatiekwesaties.
- c) Stroomlijnen - van de praktische implementatie van de methodiek, incl. visualisatie, in scripts en/of software, en de beschikbaarstelling van het resultaat in *open source* vorm.

Onderstaande paragrafen gaan puntsgewijs in op de verschillende afwegingen en keuzes die gemaakt zijn en oplossingen die gevonden zijn op de punten a) en b). Vanwege de principiële en praktische randvoorwaarden die gesteld zijn, is subdoelstelling 'a) uniformeren' ook de belangrijkste: de herziene methode sluit zoveel mogelijk aan bij de eerdere methoden en beoordelingen. De uiteindelijke implementatie en visualisatie wordt beschreven in een afzonderlijk hoofdstuk.

4.2 Rol van trendbeoordeling

Zoals beschreven in paragraaf 2.3 is de rol en het doel van het beoordelen van grondwaterlichamen op trends in de stijghoogte anders of anders verwoord dan bij waterkwaliteitsgegevens. De richtlijn laat ruimte voor interpretatieverschillen en bevat die zelf ook. Ze schrijft geen specifieke aanpak of methode voor de trendbeoordeling voor. De (bestaande praktijk van) trendbeoordeling is lastig expliciet te koppelen aan de achterliggende doelen, terwijl die laatste zelf ook onderhevig zijn aan interpretatie. De genoemde dilemma's zijn op te lossen door de trendbeoordeling (anders dan in Guidance Document no. 18) expliciet los te koppelen van het eigenlijke oordeel over de toestand.

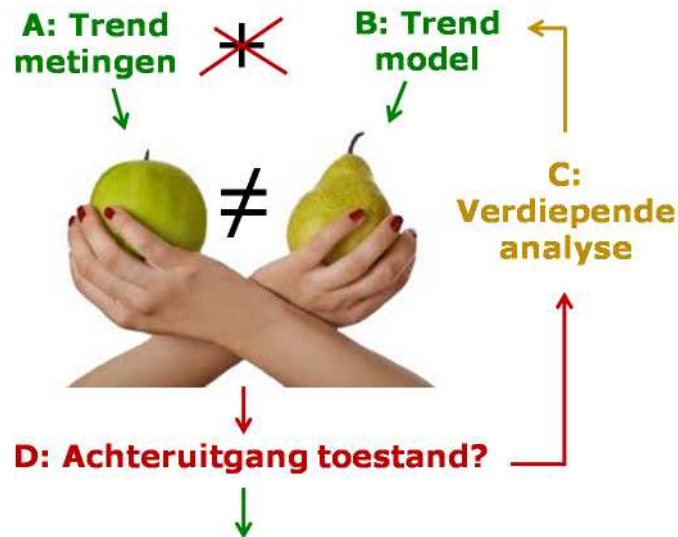


Figuur 10: Dwarsdoorsnede door het grondwatersysteem uit Figuur 2, met illustratie van de rol of signaleringsfunctie van trendbeoordeling.

We definiëren hier een trend als het geschatte verloop van een bepaalde ontwikkeling (conform wikipedia). Doel en rol van de trendbeoordeling is niet meer of minder dan het detecteren van eventueel aanwezige trends, als signaal voor een mogelijke verandering of achteruitgang van de toestand (Figuur 10).

Een significant dalende trend betekent daarmee nog niet dat er in de nieuwe toestand of de beoordeelde periode geen evenwicht is tussen onttrekking en aanvulling (zoals in de opzet van het KRW-meetprogramma gesteld is), noch dat er uitputting van de winbare hoeveelheid zoet grondwater optreedt (Broers e.a., 2005; Verhagen e.a., 2012). De nieuwe toestand is niet per definitie slecht, net zoals de oude toestand ook zeker niet per definitie goed was. Na signalering van een trend, of significant verschil in het gemiddelde van de stijghoogte in de beoordeelde periode, dient dus apart beoordeeld te worden wat de consequenties daarvan zijn, en wel in de eigenlijke toestandbeoordeling. Bij een grotere onttrekking die gecompenseerd wordt met een grotere aanvulling, is de vervolgens te beantwoorden vraag wat de oorsprong is van de grotere aanvulling en of deze niet ten koste gaat van grondwaterafhankelijke natuur.

4.3 Aanpak en inzet tijdreeksmodel



Figuur 11: Aanpak trendbeoordeling volgens de herziene methode van het KRW-protocol (LWG, 2019). De trend in de tijdstijghoogtemetingen (A) blijft gescheiden van die in de residuen van het tijdreeksmodel (B). Een verdiepende analyse (C) is nodig indien er een achteruitgang van de toestand van het grondwaterlichaam wordt signaleerd (D).

Zoals beschreven is in paragraaf 3.2 bestaan er ten aanzien van zowel de manier waarop tijdreeksmodellen zijn ingezet bij de beoordeling, als de onderdelen of resultaten waarop de eigenlijke beoordeling heeft plaatsgevonden, verschillen tussen de eerdere beoordelingen. De essentie van de inzet van tijdreeksmodellen die we hier kiezen, is dat we de beoordeling getrapd uitvoeren en de criteria en resultaten gescheiden houden. We gaan daarbij uit van de aanpak en methodiek van het Maasstroomgebied, met dien verstande dat de trend in A: de tijdstijghoogtemetingen hier niet samengenomen en vermengd wordt met die in B: de residuen van een tijdreeksmodel. Bij A gaat het zoals gezegd om de trend zoals die in werkelijkheid optreedt of gemeten is, en die dus niet gecorrigeerd is voor meteorologische variatie, terwijl bij B het omgekeerde het geval is (Figuur 11). Het verschil tussen beide geeft daarmee in principe een beeld van de meteorologische invloed. Trendmatige veranderingen in de meteorologische invloed kunnen veroorzaakt worden door veranderingen in het hydrologische systeem, maar zoals gezegd ook door verandering van de meteorologische omstandigheden c.q. klimaatverandering.

De KRW-richtlijn (European Communities, 2009) bevat zoals gezegd specificaties over het type c.q. de oorzaken en gevolgen van trends, die voor verschillende interpretatie vatbaar zijn (zie paragraaf 2.3.3 en 2.3.4). Een consequentie van de signaleringsfunctie die de trendbeoordeling heeft, is dat er alleen een verdiepende analyse nodig is, indien er ook daadwerkelijk een verandering of achteruitgang van de toestand is opgetreden. Deze verdiepende analyse is stap C, ofwel een verder onderzoek naar de achterliggende oorzaken

en gevolgen van de trendmatige daling die aan het licht is gekomen. Het argument dat Guidance Document no. 18 noemt dat de stijghoogte ook kunstmatig op peil gehouden kan worden met behulp van infiltratie van oppervlaktewater, achten we voor de Nederlandse situatie onvoldoende steekhoudend: kunstmatige infiltratie vindt plaats, maar vormt niet direct een bedreiging voor de achterliggende KRW-doelen, zijnde het instandhouden van de winbare hoeveelheid zoet grondwater en de grondwaterafhankelijke natuur (m.b.t. de kwantitatieve omstandigheden daarvoor). Beoordeling hiervan valt bovendien onder de KRW-beoordeling van grondwaterafhankelijke oppervlaktewater.

De verschillende resultaten per meetpunt dienen los van stap C ook geaggregeerd te worden, om tot een eindoordeel per grondwaterlichaam te komen. Deze aggregatie vormt stap D, waarmee we al met al uitkomen op de volgende getrapte en gescheiden aanpak voor de trendbeoordeling, zoals die gehanteerd dient te worden volgens het herziene KRW-protocol (LWG, 2019):

A: Trendbeoordeling stijghoogtereeksen – op basis van het periodegemiddelde en de standaardfout daarvan (zie paragraaf 4.4). Deze beoordeling wordt toegepast op alle meetreeksen, met uitzondering van diegene die niet door de kwaliteitscontrole (QC) komen.

B: Tijdreeksanalyse m.b.v. klimatologische factoren – Verklaring en modellering van de stijghoogtereeksen met behulp van neerslag en verdamping als verklarende factoren. De trendbeoordeling vindt plaats op de residuen van het tijdreeksmodel, gebruikmakend van dezelfde methode als in stap A. Meetreeksen waarvan het model niet door de modelbeoordeling komt, worden niet meegenomen in deze beoordeling (met de gevolgen van dien, zie paragraaf 4.5.2).

C: Verdiepende analyse – indien er in de vorige stappen trendmatige dalingen aan het licht zijn gekomen, wordt in deze stap verder onderzoek gedaan naar de achterliggende oorzaken en gevolgen daarvan. Deze stap vereist meer maatwerk dan de vorige. Hulpmiddelen daarbij zijn het toevoegen van meetpunten en/of verklarende reeksen in de analyse, het beoordelen van langjarige trends en/of de invloed van klimatologische variatie en meer algemeen geformuleerd een systeem- en oorzakenanalyse (in lijn met het statement over de 'best use of level data' in annex 2 van de KRW-richtlijn).

D: Aggregatie tot grondwaterlichaam – om tot een overzicht en eindoordeel daarover te komen. Voor een bespreking van de te gebruiken methode en criteria daarbij, zie paragraaf 4.5.

4.4 Trendtoetsing

Voor de eigenlijke trendtoetsing, die onderdeel uitmaakt van de stappen A en B, kiezen we hier voor die van het Maasstroomgebied, die o.a. is beschreven in bijlage D3 van het rapport van van Geer en Lourens (2001). De formules in deze bijlage bevatten een kleine slordigheidsfout (een ontbrekend wortelteken), die storend kan zijn indien ze niet of te laat

wordt opgemerkt. Doordat daarnaast een aantal achtergronden en aannamen achter de methoden en formules voor de minder ingewijde lezer wellicht niet direct helder zijn, kan de beschrijving aanleiding geven tot verwarring en discussie. In bijlage A van dit rapport is de oorspronkelijke beschrijving van de methode verbeterd en waar nuttig verder verhelderd. Overwegingen die tegen de andere, eerder gebruikte methoden pleiten zijn:

- a) Structureel niveau – Hierin komen alle factoren die het tijdreeksmodel kan verklaren tot uitdrukking, maar niet diegene die daardoor niet verklaard worden. Die laatste komen per definitie tot uitdrukking in het modelresidu. De trend in het modelresidu is in die zin niet zozeer een alternatief voor die in het structureel niveau: de trend in structureel niveau en modelresidu samen geeft de totale trend in de stijghoogte (m.u.v. die t.g.v. meteorologische variatie).
- b) Lineaire trend residu – Een eventueel in de werkelijkheid optredende daling of trend zal zich niet noodzakelijkerwijs lineair gedragen. Toetsing op de aanwezigheid van een lineaire trend kent daarmee zijn beperkingen. Een alternatief is de Mann-Kendalltoets, met correctie voor autocorrelatie. Deze toetst op een monotone trend, ongeacht de vorm daarvan.

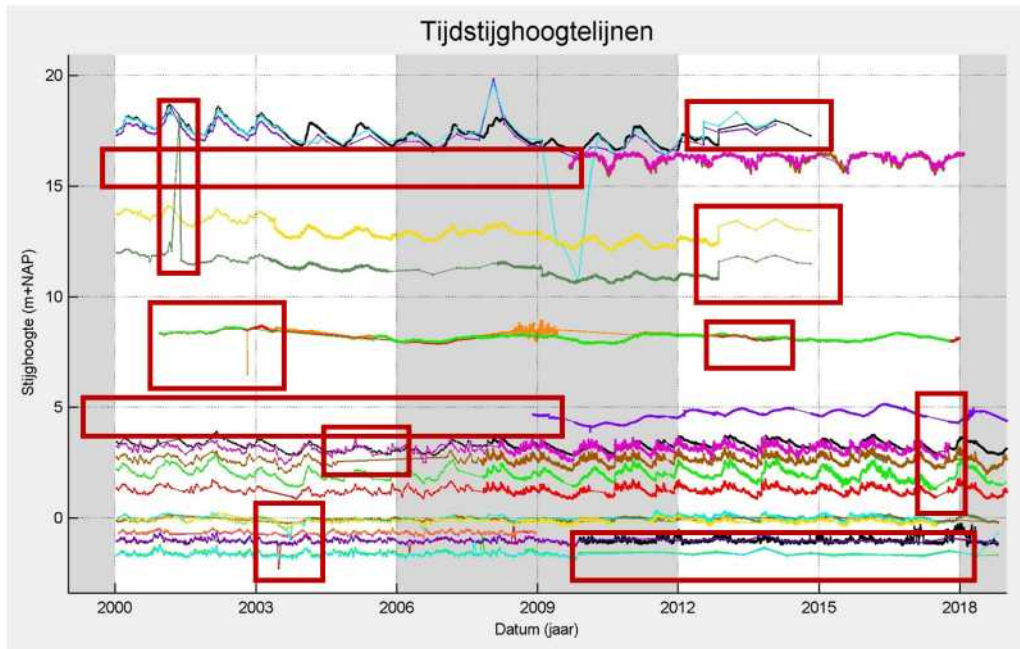
4.5 Oordeel per grondwaterlichaam

4.5.1 Inleiding

De beoogde herziening is op dit onderdeel (en m.b.t. de verdiepende analyse van stap C) gestuit op de praktische randvoorwaarden daarbij én bij de parallele toepassing van de methode in de lopende KRW-beoordelingscyclus. Er is kort gezegd meer tijd besteed aan de praktische implementatie en visualisatie dan verwacht (zie ook hoofdstuk 0), waardoor de beoogde herziening, ontwikkeling en test van de methodiek op deze punten niet goed uit de verf is gekomen. Onderstaande tekst is hierdoor minder eenduidig en/of minder goed onderbouwd en concreet van aard dan de voorgaande. We verwijzen m.b.t. openstaande vragen en vervolgstappen graag door naar de aanbevelingen.

4.5.2 Kwaliteitscontrole (QC)

Zoals gezegd dienen de ingrediënten voor het eindoordeel allereerst de ‘toets der kritiek’ te kunnen doorstaan om tot een verantwoord en representatief eindoordeel per grondwaterlichaam te kunnen komen. Bij deze basis-ingrediënten gaat het om het of de:



Figuur 12: Tijdstijghoogtelijnen van KRW-meetnet Zand Rijn-West over de referentie- en beoordeelde periode uit de lopende KRW-cyclus (bron: Clevers en Von Asmuth, 2020). Bijzonderheden die betrekking (kunnen) hebben op de kwaliteit van de metingen zijn hier voorzien van een rood kader.

- a) Metingen – De kwaliteitscontrole hiervan dient volgens het QC-protocol van de gezamenlijke provincies (Von Asmuth, 2018) te verlopen, maar de software daarvoor is nog niet afgerond en kon daardoor nog niet toegepast worden. QC-protocol v2.0 heeft bovendien betrekking op kwaliteit van de metingen in het algemeen, maar specifieke toepassingen zoals trendbeoordeling kunnen aanvullende eisen hieraan stellen (zie bijv. bijlage A). Uit de resultaten van de lopende beoordelingscyclus (Clevers en Von Asmuth, 2020) komt naar voren dat veel metingen duidelijke kwaliteitsproblemen vertonen (zie bijv. Figuur 12).
- b) Modellen – Ten behoeve van de lopende beoordelingscyclus is geautomatiseerde modelbeoordeling toegepast die gebaseerd is op (Von Asmuth en Leunk, 2012). Deze beoordeling is ook ingebouwd in het programma Menyanthes (Von Asmuth e.a., 2012) en wordt daar niet toegepast als hard en eenduidig criterium maar als ‘flag’ die waarschuwt voor resultaten die nadere aandacht behoeven. De parameters die daarbij zijn meegenomen, zijn terug te vinden in de resultaten van het project. Het gaat om:
 - o **PrecM0**: De zogenoemde *gain* of het nulde moment van de respons op neerslag. Deze dient kleiner te zijn dan 5000 dagen.

- **PrecM0Std**: De standaardfout van PrecM0. PrecM0 dient significant te zijn, ofwel groter dan 2 keer PrecM0Std (95% betrouwbaarheid bij een normale verdeling, onder de aanname dat de innovaties voldoen aan de criteria van zogenoemde 'witte ruis').
- **EvapFctr**: De verdampingsfactor. Deze dient tussen 0.5 en 1.5 te liggen.
- **EvapFctrStd**: De Standaardfout van de verdampingsfactor. De EvapFctr dient significant te zijn (met 95% betrouwbaarheid).

Een kanttekening die hierbij geplaatst moet worden, is dat modellen in het algemeen specifiek beoordeeld moeten worden op het doel waarvoor ze gebruikt worden. De rationale achter de hier gemaakte keuze is dat het bij de trendbeoordeling gaat om de correctie voor meteorologische variatie. Deze dient (volgens de desbetreffende criteria) te voldoen aan:

- Statistische betrouwbaarheid
- Hydrologische plausibiliteit

Indien dat niet het geval is, dan is de correctie die het model toepast te onzeker en/of te onwaarschijnlijk, en mogelijk deels te wijten aan non-causale correlatie met een andere factor. Dit is van belang voor beoordelingsstap B (zie paragraaf 4.3).

- c) Meetnet – Dit dient zoals gezegd in hydrologische, ruimtelijke en statistische zin voldoende representatief te zijn. In het kader van de lopende beoordelingscyclus is het meetnet visueel gecontroleerd en beoordeeld op kwaliteit, en waar mogelijk zo snel ook gecorrigeerd (Clevers en Von Asmuth, 2020). Conclusies hierbij:
 - De representativiteit van de meetnetten (b)lijkt lang niet altijd afdoende, bijv. qua ruimtelijke spreiding, en documentatie daarover ontbreekt.
 - De modelbeoordeling zorgt ervoor dat de representativiteit van het resterende meetnet in stap B (verder) verminderd wordt, omdat met name de meetpunten die (grotere) trends vertonen daarbij wegvallen.

4.5.3 Aggregatiemethode

Histogram en middeling

Voor de lopende beoordelingscyclus is gekozen voor het maken van histogrammen van de grootte van de trend in zowel de metingen (stap A) als het residu (stap B). Om tot één enkel getal per grondwaterlichaam te komen, is het gemiddelde van alle trends berekend en geplot in het histogram (Figuur 13). Vanwege de in paragraaf 3.4.2 genoemde redenen is hierbij geen weging toegepast.

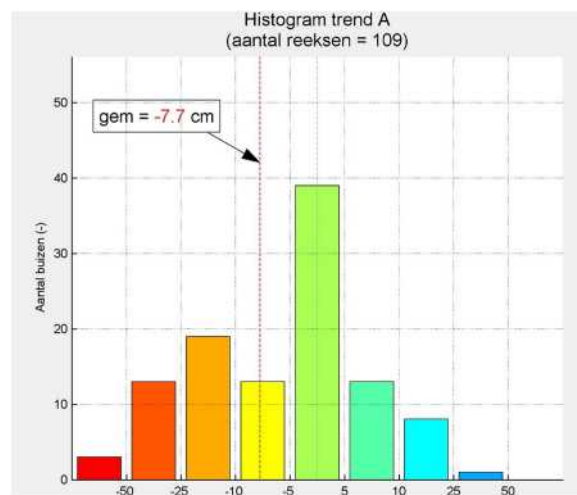
Robuuste statistiek

Nadeel van de gekozen aanpak is dat de standaardfouten van de trendschattingen en de significanties van de trends in het grondwaterlichaam daar (vooralsnog) niet in meegenomen

worden. Een mogelijk alternatief voor de in het Maasstroomgebied toegepaste weging, is het toepassen van zogenoemde robuuste statistiek. Het gebruik van bijvoorbeeld een mediaan in plaats van een gemiddelde in het eindoordeel, zorgt ervoor dat de trendgrootte van onbetrouwbare, sterk afwijkende schattingen geen invloed heeft op het eindoordeel.

Ruimtelijke interpolatie

Het feit dat de ruimtelijke en statistische representativiteit van de KRW-meetnetten lang niet altijd afdoende (b)lijkt, kan deels ondervangen worden met behulp van ruimtelijke interpolatie (kriging of anderszins). Vanwege de genoemde praktische randvoorwaarden heeft de beoogde uitwerking en test van deze manier van ruimtelijk aggregeren (nog) niet plaatsgevonden. We nemen dit als vervolgstap mee in de aanbevelingen.



Figuur 13: Histogram van de geschatte trends in stap A voor grondwaterlichaam Zand Rijn-Oost, inclusief niet-gewogen gemiddelde (gem) (bron: Clevers en Von Asmuth, 2020). De kleuring is gebaseerd op de in paragraaf 4.5.4 besproken criteria.

4.5.4 Criteria

Min of meer analoog aan de wijze waarop eerder de histogrammen voor de grondwaterlichamen in West- en Midden-Nederland zijn toegepast (Leunk, 2013a), is ook voor de lopende beoordelingscyclus gekozen voor een 'beoordeling op maat'. In dit geval is er zoals gezegd echter wel voor gekozen om ook de gemiddelde trend van het grondwaterlichaam te berekenen, én om duiding aan de grootte van de trends mee te geven via kleuring van de staven in het histogram (rood = daling, groen = stabiel, blauw = stijging, zie Figuur 13). De klasse-indeling is hier bovendien wat anders gekozen dan in Leunk (2013a), en wel als volgt:

Begrenzing classificatie trendgrootte (cm) = [-50 -25 -10 -5 5 10 25 50]

Mede omdat de trend een signaleringsfunctie heeft en geen directe relatie met de eigenlijke toestand of de achterliggende doelen (zie paragraaf 4.2), is het niet mogelijk om objectieve inhoudelijke criteria of klassegrenzen te bepalen. Kijkend naar de achterliggende doelen, dan heeft bijvoorbeeld een langjarige, grootschalige daling van de stijghoogte van X cm die één-op-één doorwerkt op de freatische (grond)waterstanden in kwetsbare, grondwaterafhankelijke natuurgebieden een heel andere betekenis dan een daling met eenzelfde orde grootte in een diep afgesloten pakket, waar ook de winning in het geheel niet in het geding is. Omgekeerd kunnen stijgingen ook negatief uitpakken, bijvoorbeeld in het geval van grondwaterafhankelijke natuur waar te sterke vernatting optreedt. Zeespiegelstijging draagt daarnaast bij aan toename van de stijghoogte in watervoerende pakketten in West- en Noord-Nederland, maar ook aan de intrusie van zeewater. Dit kan negatieve invloed hebben op de winbare hoeveelheid zoet grondwater. Zoutwaterintrusie wordt weliswaar binnen de KRW-beoordeling expliciet en apart beoordeeld.

Leidend principe bij de vorming van het eindoordeel over een grondwaterlichaam op basis van de trendbeoordeling is daarom het voorzorgsprincipe. Indien de trendbeoordeling een achteruitgang van de toestand aan het licht brengt die mogelijk negatieve consequenties heeft voor de achterliggende doelen, dient nader onderzoek plaats te vinden om deze in kaart te brengen. Een gemiddelde achteruitgang kan daarbij negatieve consequenties hebben, maar lokale achteruitgang in principe ook.

5 Visualisatie en implementatie

5.1 Inleiding

Door een combinatie van factoren is een belangrijk deel van de tijd en aandacht in dit project uitgegaan naar de praktische implementatie van de methodiek, incl. de visualisatie en automatisering daarvan. Het gaat daarbij om:

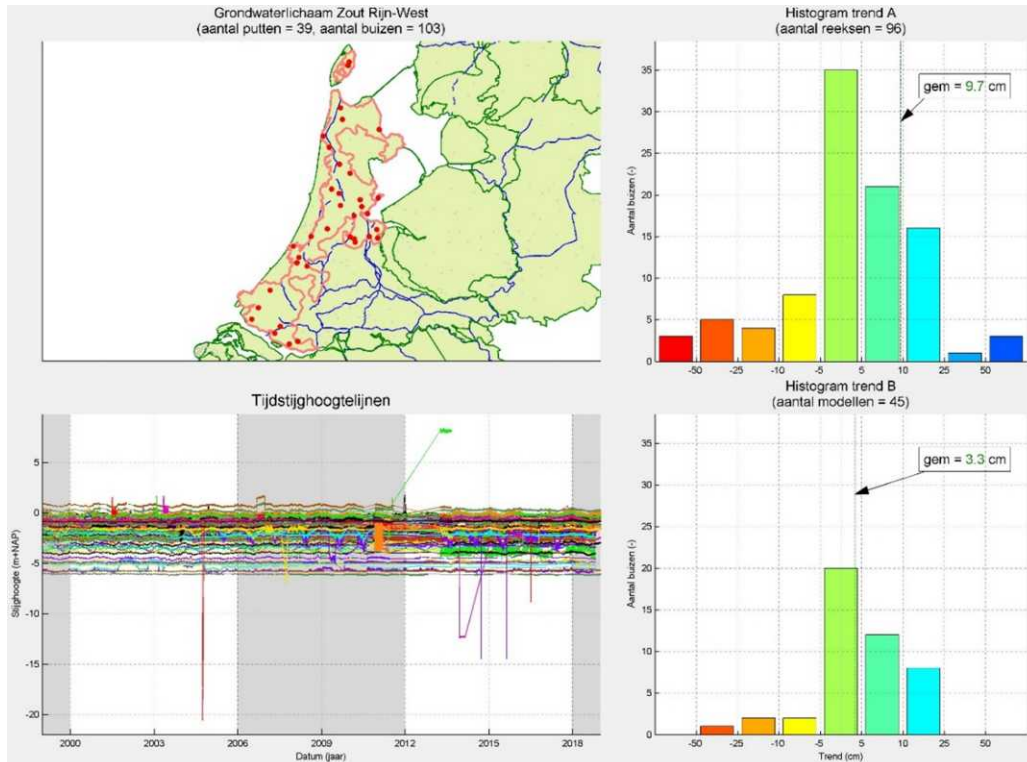
- a) De door de LWG meegegeven randvoorwaarde dat uitwerking en toepassing van de methode in beperkte tijd te realiseren moet zijn
- b) Het feit dat trendbeoordelingsmethodiek niet alleen herzien is, maar parallel en gelijktijdig is toegepast op de resterende deelgebieden van de lopende KRW-beoordelingscyclus (Clevers en Von Asmuth, 2020).

Zoals beschreven is in paragraaf 3.5 bestonden er reeds MATLAB-scripts voor het toepassen van de methodiek (Verhagen et al, 2012; Leunk en van Doorn, 2017), die echter zeker niet het hele proces, inclusief de visualisatie en uitwerking van de methode afdekken. Alhoewel het geen directe doelstellingen waren, is de visualisatie van de resultaten verbeterd, geüniformeerd en geautomatiseerd ten behoeve van de toepassing, en is uiteindelijk een prototype van een complete user interface vervaardigd. Alhoewel deze user interface (nog) niet operationeel bruikbaar is, is toepassing van de methodiek hiermee in belangrijke mate gestroomlijnd. Ter indicatie: waar het bij de oorspronkelijke scripts om 14 regels code gaat, bevatten de user interface en andere functies nu samen 2175 regels code (meer dan 150 keer zo veel).

5.2 Visualisatie

Twee van de grafieken die deel uitmaken van de herziene visualisatie, zijn al in het vorige hoofdstuk aan bod gekomen (zie Figuur 12, Figuur 13). Ze maken onderdeel uit van de figuren die opgenomen zijn in (Clevers en Von Asmuth, 2020). De figuren vormen de belangrijkste visualisatie van de resultaten van de trendbeoordeling per grondwaterlichaam, en het meetnet en de metingen als ingrediënten daarvan. Deze figuren zijn onderverdeeld in de volgende vier vlakken of kwadranten (zie ook Figuur 14):

- a) Meetnet (linksboven) – afgebeeld op een kaartje waarmee o.a. de ruimtelijke ligging en spreiding van de meetpunten (rode punten) in het horizontale vlak kan worden beoordeeld. De begrenzing van het grondwaterlichaam is weergegeven als rode lijnen. De verhouding tussen het aantal putten en buizen geeft een indicatie van de verticale spreiding.

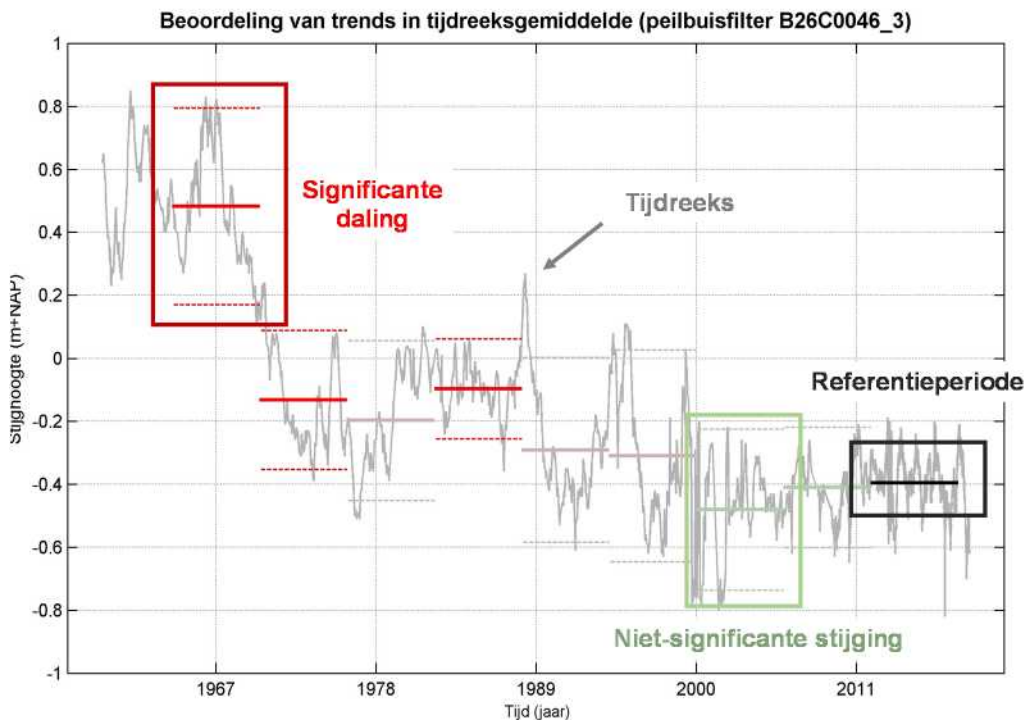


Figuur 14: Belangrijkste visualisatie van de resultaten van de trendbeoordeling (en het meetnet en de metingen als ingrediënten daarvan) voor grondwaterlichaam Zout Rijn-West. Trend A geeft de geschatte trend in de stijghoogtereeksen weer, trend B die in de modelresiduen. Voor verdere toelichting, zie de hoofdtekst.

- b) Metingen (linksonder) -, afgebeeld als grafiek met tijdstijghoogtelijnen. De referentie- en beoordeelde periode hebben daarbij een witte achtergrond, terwijl de rest van grafiek 'uitgegrisd' is.
- c) Trend A (rechtsboven) - afgebeeld als histogram zoals besproken in paragraaf 4.5.3.
- d) Trend B (rechtsonder) - eveneens afgebeeld als histogram. De verhouding tussen het aantal reeksen en modellen weerspiegelt het effect van de modelbeoordeling, en geeft een indicatie van de representativiteit van de resterende resultaten.

Verdere resultaten van de trendbeoordeling van de verschillende tijdreeksen zijn lastig in te passen in deze visualisatie. Grafieken en details daarvan zijn daarom niet daar opgenomen, maar kunnen wel aangemaakt en opgevraagd worden in de afzonderlijke user interface die vervaardigd is ten behoeve van de trendbeoordeling (Figuur 16). De belangrijkste figuur daarbij is gebaseerd op de eerdere, op zichzelf overzichtelijke figuur van HaskoningDHW (Figuur 9). Deze figuur kan echter verwarrend zijn indien de trendbeoordeling de facto

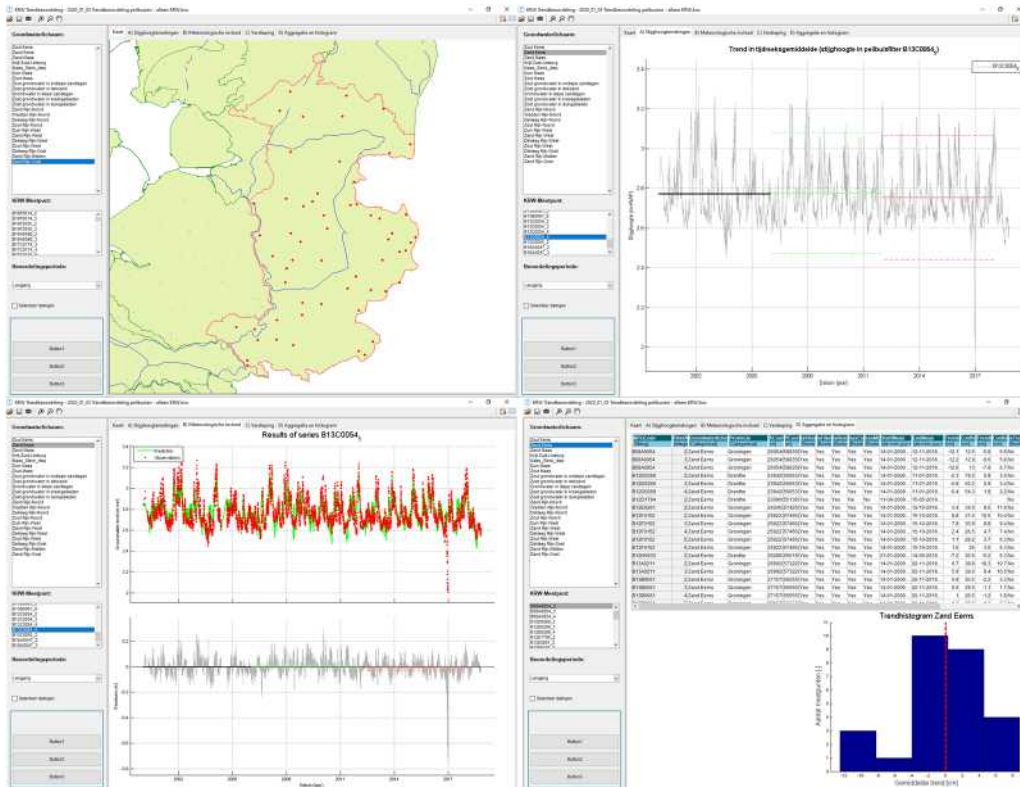
neerkomt op een beoordeling van de trend in de eigenlijke reeks van stijghoogtemetingen. Die verwarring is weggenomen door de resultaten in dat geval samen te vatten in één grafiek, zoals in Figuur 15.



Figuur 15: Grafiek met beoordeling van trends in het tijdreeksgemiddelde over verschillende periodes, met toelichting. De weergegeven (al dan niet significante) dalingen en stijgingen zijn berekend op basis van de verschillen met de referentieperiode.

5.3 User Interface en functies

Vanwege de grote hoeveelheid gegevens en resultaten bij de KRW-beoordeling én omwille van de transparantie, uniformiteit en reproduceerbaarheid, is het belangrijk om een liefst zo groot mogelijk deel van het trendbeoordelingsproces geautomatiseerd en/of ondersteund met automatisering te kunnen doen. Om die reden is een user interface ontwikkeld, waarvan screendumps te zien zijn in Figuur 16. Het ontwikkelen van software is en was echter een nevenopbrengst van dit project. Dit is de reden waarom het bij deze user interface om een (nog) niet operationeel bruikbaar prototype gaat. De doelstelling van het overzichtelijk



Figuur 16: Screenshot van de ontwikkelde user interface (prototype) voor beoordeling van grondwaterlichamen op trends in de stijghoogte ten behoeve van de Kaderrichtlijn Water (KRW).

presenteren van de belangrijkste resultaten van een grondwaterlichaam in één figuur brengt daarnaast andere wensen en randvoorwaarden met zich mee dan die van een user interface. Om die reden is de visualisatie van Figuur 14 niet met de eigenlijke user interface gemaakt, maar via een afzonderlijke functie en figuur.

De belangrijkste (in Matlab r2014a) gerealiseerde functies zijn:

- **guiWFDTrendAnalysis** – de eigenlijke grafische user interface (gui). Deze heeft een '*.krw' bestand nodig als invoer, die de eigenlijke basisgegevens en resultaten bevat. Een dergelijk bestand kan voornamelijk alleen handmatig aangemaakt worden, reden waarom de user interface (nog) niet zelfstandig operationeel bruikbaar is.
- **guiExportWFDFigures** – applicatie die niet meer of minder doet dan het aanmaken en exporteren van de figuren met resultaten van de trendbeoordeling (conform Figuur 14).
- **calcPeriodAverage** en **createPeriodAVGTable** - functies die de periodegemiddelden met varianties van tijdreeksen berekenen (conform bijlage A).

- **calcWFDBodyTrends** en **createTubeTrendTable** - functies die de trend per monitoringbuis en per grondwaterlichaam berekenen, en omzetten naar een tabel met eindresultaten van de trendbeoordeling (conform digitale bijlage I in (Clevers en Von Asmuth, 2020)).
- **exportWFDTrends** - functie die de resultaten van de trendbeoordeling exporteert en de belangrijkste, samenvattende karakteristieken daarvan berekent (conform paragraaf 3.1 in (Clevers en Von Asmuth, 2020)).

De gerealiseerde user interface is samen met de onderliggende scripts, functies en code open source beschikbaar op het GitHub-account van het platform meetnetbeheerders. De specificaties daarvan zijn:

Account: <https://github.com/PlatformMeetnetbeheerders>
Repository: KRW-Trendbeoordeling
Description: Software voor trendbeoordeling van grondwaterlichamen t.b.v. de Kaderrichtlijn Water (KRW)

Zoals gezegd is deze software, ondanks dat de automatisering in veel sterkere en betere mate is doorgevoerd dan voorzien, nog niet direct operationeel toepasbaar of eenvoudig bruikbaar door derden. We nemen dit punt mee in de aanbevelingen.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Hoofdlijn herziene methode

Zowel in de inhoud en tekst van de KRW-richtlijn over toestand- en trendbeoordeling zelf (European Communities, 2009) als bij de toepassing daarvan in eerdere trendbeoordelingen, spelen een aantal interpretatiekwesties, complicaties en kanttekeningen. Deze kwesties zijn punts- en paragraafsgewijs in kaart gebracht en beschreven in de hoofdstukken 2 en 3. Op basis van de in hoofdstuk 4 besproken afwegingen is gekozen voor een herziening van de methode voor trendbeoordeling, die inmiddels is opgenomen in het eveneens herziene KRW-protocol van de Landelijke Werkgroep Grondwater (LWG, 2019). Samenvattend zijn de hoofdlijnen daarvan als volgt:

- a) Rol van trendbeoordeling – dit is niet meer of minder dan het signaleren van een mogelijke achteruitgang van de toestand (los van het goed of slecht zijn daarvan).
- b) Aanpak en inzet tijdreeksmodellen – deze dient getrapt en gescheiden te zijn en blijven. De meteorologische omstandigheden vertonen trends (klimaatverandering) die een negatieve invloed kunnen hebben op de achterliggende KRW-doelen (winbaar zoet grondwater en natuur), en gekoppeld zijn aan menselijk handelen.
- c) Trendtoetsing – deze vindt plaats op basis van de in bijlage A beschreven methode, en dat op zowel de stijghoogtereeksen zelf als op de residuen van het tijdreeksmodel (met correctie voor neerslag en verdamping).
- d) Oordeel per grondwaterlichaam – hierbij is gekozen voor een ‘beoordeling op maat’ die gebaseerd is op histogrammen en middeling. De beoogde herziening op dit punt heeft echter (nog) niet volledig plaatsgevonden. Problemen met de kwaliteit van de metingen en het meetnet blijken het oordeel parten te spelen. Ruimtelijke interpolatie kan een oplossing zijn voor problemen rond de ruimtelijke en statistische representativiteit van het meetnet.
- e) Visualisatie en implementatie - deze heeft juist meer aandacht gekregen, de automatisering is in veel sterkere en betere mate doorgevoerd dan voorzien. De resulterende software is open source beschikbaar op het GitHub-account van het platform meetnetbeheerders onder repository ‘KRW-Trendbeoordeling’.

6.2 Vervolgstappen

Naar aanleiding van de in dit rapport beschreven analyses, en het feit dat de beoogde herziening niet voltooid kon worden, doen we de volgende aanbevelingen:

- a) Beoordeling en verbetering meetnet en metingen – zoals besproken is in paragraaf 4.5.2 komt uit de resultaten van de lopende beoordelingscyclus naar voren dat zowel de meetnetten als de metingen kwaliteitsproblemen vertonen. Trendbeoordeling stelt daarbij aanvullende eisen t.o.v. het algemene QC-protocol van de provincies, bijvoorbeeld ten aanzien van de (statistische) representativiteit van de metingen voor de beoordeelde periode (zie bijlage A). Dit punt komt niet aan de orde in de huidige versie van de herziene methode, noch in de gerealiseerde software daarvoor. Het verdient aanbeveling om dit wel en alsnog mee te nemen.
- b) Oordeel per grondwaterlichaam – aan deze beoordeling zitten zowel principiële als technisch-inhoudelijke kanten. De meer principiële hebben betrekking op het doel en de criteria, en scharen we hieronder onder ‘doelgericht beoordelen’. Meer technisch-inhoudelijke kanten zijn besproken in paragraaf 4.5.3, en betreffen de inzet van ruimtelijke interpolatie en robuuste statistiek bij de aggregatie.
- c) Doelgericht beoordelen (en meten) – zoals besproken in de paragrafen 4.2 en 4.5.4 is de trendbeoordeling in de herziene aanpak losgekoppeld van toestand en achterliggende doelen, wat de rol verheldert maar niet noodzakelijkerwijs het meest effectief is. Het is hierdoor zoals gezegd niet goed mogelijk om op inhoudelijke gronden tot objectieve beoordelingscriteria te komen. Bij bijv. het alsnog uitwerken van stap ‘C: verdiepende analyse’ zou een doelstelling kunnen zijn om de beoordeling waar mogelijk toe te spitsen op de achterliggende KRW-doelen (winbaar zoet grondwater en natuur). Ook meer doelgericht meten (het selecteren, inrichten of betrekken van meetpunten die specifieke informatie over de achterliggende doelen verschaffen) kan de beoordeling scherper en concreter maken.
- d) Softwarematige implementatie – deze is zoals gezegd nog niet operationeel toepasbaar of eenvoudig bruikbaar voor derden. Het verdient aanbeveling om de implementatie door te zetten naar een niveau waarop dit wel zo is.

7 Literatuur

- Baggelaar, P.K.** (1988) Tijdreeksanalyse bij verlagingsonderzoek: principe en voorbeeld; in: *H2O*, vol 21, no 16, pag 443-450.
- Broers, H.P., P. Schipper, R. Stuurman, F.C. van Geer en v.O. G.** (2005) Opzet van het KRW meetprogramma grondwater voor het stroomgebied Maas. ; TNO-rapport NITG 05-176-A, TNO, Utrecht.
- Clevers, S. en J. Von Asmuth** (2020) Rapport tijdstijghoogte-analyse West-, Noord-, en Oost-Nederland & Scheldestroomgebied; Rapportnr. KWR 2020.003 KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- De Gruijter, J.J., D.J. Brus, M.F.P. Bierkens en M. Knotters** (2006) Sampling for Natural Resource Monitoring; Springer, Heidelberg.
- European Communities** (2009) Common Implementation Strategy For The Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance on Groundwater Status and Trend Assesment; WFD CIS Guidance Document No. 18, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- 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*, vol 197, pag 25-46.
- Leunk, I.** (2013a) Tijdreeksanalyse grondwaterstanden en -stijghoogten KRW in West en Midden Nederland; Rapport KWR 2013.099, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- (2013b) Tijdreeksanalyse KRW meetnet Noord Nederland 2013; Rapport KWR 2013.055, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Leunk, I. en A. van Doorn** (2017) Trendanalyse grondwaterstands- en stijghoogtegegevens Maasstroomgebied (2012-2016); Rapport KWR 2017.046, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- LWG** (2013a) Draaiboek monitoring grondwater KRW; Landelijke Werkgroep Grondwater, Ministerie van IenM, DG Ruimte en Water, Den Haag.
- (2013b) Protocol voor toestand- en trendbeoordeling van grondwaterlichamen KRW; Landelijke Werkgroep Grondwater, Ministerie van IenM, DG Ruimte en Water, Den Haag.
- (2019) Protocol voor toestand- en trendbeoordeling van grondwaterlichamen KRW - Herzien 2019; Rapport GW9603, Landelijke Werkgroep Grondwater, Ministerie van IenM, DG Ruimte en Water, Den Haag.
- Obergfell, C., M. Bakker en K. Maas** (2016) A time-series analysis framework for the flood-wave method to estimate groundwater model parameters; in: *Hydrogeology Journal*, vol, pag 1-13.
- Rolf, H.L.M.** (1989) Verlaging van de grondwaterstanden in Nederland. Analyse periode 1950-1986 (Lowering of the water table in the Netherlands. Analysis of the period 1950-1986) (in Dutch); DGV-TNO, Delft.
- Thiébaux, H.J. en F.W. Zwiers** (1984) The interpretation and estimation of effective sample size; in: *Journal of Climate and Applied Meteorology*, vol 23, no 5, pag 800-811.
- Van de Wouw, M.** (2000) De GHG, zo veranderlijk als het weer; in: *Stromingen*, vol 6, no 3, pag.

- Van den Besselaar, E., A. Klein Tank en T. Buishand** (2013) Trends in European precipitation extremes over 1951–2010; in: *International Journal of Climatology*, vol 33, no 12, pag 2682-2689.
- van Doorn, A. en I. Leunk** (2017) Evaluatie KRW-meetnet Maasstroomgebied van de provincie Noord-Brabant; Rapport KWR 2017.045, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Van Geer, F.C., P.K. Baggelaar en P.R. Defize** (1988) Toepassing van tijdreeksanalyse op meetreeksen van de stijghoogte; in: *H2O*, vol 21, no 161, pag 438-442.
- van Geer, F.C., S. Bloemendaal, A.H.M. Kremers en A. Lourens** (1993) Ontwikkeling van de diepe stijghoogte en de relatie met de ondiepe stijghoogte in Noord-Brabant; Rapport OS 93-67B., IOG-TNO, Delft
- van Geer, F.C. en A. Lourens** (2001) Trends in de stijghoogte en relatie tussen verschillende dieptes; TNO-rapport NITG 01-125-B, Delft.
- Verhagen, F.T., W. Swierstra, F.C.J. van Herpen, M.E. van Vliet, A. Krikken, H. Vermue en H.P. Broers** (2012) KRW toetsing grondwater, 2012; Maasstroomgebied; Rapport 9X3355, Haskoning Nederland B.V. Water, 's-Hertogenbosch.
- Von Asmuth, J.R.** (2012) Groundwater System Identification, through Time Series Analysis; Ph.D. thesis, Delft University of Technology, Delft.
- Von Asmuth, J.R.** (2018) Kwaliteitsborging grondwaterstands- en stijghoogtegegevens: Protocol voor datakwaliteitscontrole (QC) (versie 2.0); Rapport PMB2018, Platform meetnetbeheerders grondwaterkwantiteit van de gezamenlijke provincies, Arnhem.
- 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*, vol 38, pag 178-190, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.06.003>.
- Von Asmuth, J.R., K. Maas, M. Bakker en J. Petersen** (2008) Modeling time series of groundwater head fluctuations subjected to multiple stresses; in: *Ground Water*, vol 46, doi: 10.1111/j.1745-6584.2007.00382.x, no 1, pag 30-40.
- Von Asmuth, J.R. en A. Van Doorn** (2018) Trendanalyse grondwaterlichaam Maas Slenk Diep. Langjarige trends, 'Quick Scan' bruinkoolwinning en voorstel voor verdieping; Rapportnr KWR 2018.017, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Zwiers, F.W. en H. Von Storch** (1995) Taking serial correlation into account in tests of the mean; in: *Journal of Climate*, vol 8, no 2, pag 336-351.

Bijlage A: Berekening periodegemiddelde met variantie

De trendbeoordeling van zowel het Maasstroomgebied als die volgens het herziene KRW-protocol van 2019 is gebaseerd op een generieke, statistische methode voor het berekenen van periodegemiddelden en de variantie daarvan. Deze methode is o.a. beschreven in bijlage D3 in (van Geer en Lourens, 2001). De hoofdtekst in deze bijlage is ongewijzigd overgenomen uit dat rapport. Om de berekeningen en methode verder te verhelderen is de desbetreffende tekst vervolgens voorzien van:

- a) vier kanttekeningen (via een voetnoot)
- b) één aanvulling (in paars)
- c) één correctie (in rood)

Significantie van het verschil in gemiddelde.

Het doel is vaststellen of het gemiddelde van de reeks in één periode van vijf jaar verschilt van het gemiddelde in een andere periode van vijf jaar. Met de term "gemiddelde" wordt hier bedoeld de verwachtingswaarde van het onderliggende proces. Het rekenkundig gemiddelde van de waarnemingen in de periode van vijf jaar is de schatting van deze verwachtingswaarde³. Het verschil tussen de verwachtingswaarde en het rekenkundig gemiddelde is de schattingsfout. De orde van grootte van de schattingsfout wordt gekarakteriseerd met de variantie, en is afhankelijk van de variantie van de reeks en de autocorrelatie. Doorgaans wordt de variantie van de schattingsfout aangeduid als variantie van het gemiddelde. De variantie van het gemiddelde van reeks x in periode A met n waarnemingen met een meetinterval Δt en een variantie $\sigma_{x,A}^2$ en autocorrelatiefunctie $\rho(i\Delta t, A)$ kan berekend worden met:⁴

³ Achter deze tekst en stelling ligt de aanname dat de waarnemingen een statistisch representatieve steekproef vormen van de desbetreffende periode. Dat is het geval indien de waarnemingen een vaste meetfrequentie hebben, of random verdeeld zijn (dit laatste komt in praktijk weinig voor). Deze aanname gaat niet zomaar en altijd op. Er kunnen bijv. waarnemingen of zelfs delen van de periode ontbreken, of de meetfrequentie kan wijzigen bij overstap op (druk)sensoren.

⁴ Ook deze formule gaat uit van metingen met vaste tijdstappen ofwel een vaste meetfrequentie.

$$\sigma_{\bar{x},A}^2 = \frac{\sigma_{x,A}^2}{n} \left[1 + \frac{2}{n} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i) * \rho(i\Delta t, A) \right]_5$$

De variantie van het verschil in gemiddelde tussen twee perioden (A en B) is gelijk aan de som van de variantie van het gemiddelde in beide perioden. Indien onafhankelijkheid tussen beide perioden kan worden aangenomen geldt:

$$\sigma_{verschil}^2 = \sigma_{\bar{x},A}^2 + \sigma_{\bar{x},B}^2$$

Indien we aannemen dat de schattingsfouten normaal verdeeld zijn kan het 95% betrouwbaarheidsinterval eenvoudig worden afgeleid volgens:⁶

$$\pm 1.96 \sqrt{(\sigma_{\bar{x},A}^2 + \sigma_{\bar{x},B}^2)}$$

Bij perioden die niet onafhankelijk zijn⁷ dient de covariantie C verdisconteert te worden bij het berekenen van de variantie van het verschil in gemiddelde. De eerdere formule wordt dan:

$$\sigma_{verschil}^2 = \sigma_{\bar{x},A}^2 + \sigma_{\bar{x},B}^2 - 2C(\bar{x}_A, \bar{x}_B)$$

Het 95% betrouwbaarheidsinterval kan vervolgens afgeleid worden via:

$$\pm 1.96 \sqrt{\sigma_{verschil}^2}$$

⁵ Het betreft hier een benaderende correctie, die niet altijd even goed werkt, zodat ook het resulterende betrouwbaarheidsinterval als een benadering moet worden gezien. Een daarop gebaseerde toets kan daardoor een empirische betrouwbaarheid hebben die afwijkt van de ingestelde betrouwbaarheid (Thiébaux en Zwiers, 1984; Zwiers en Von Storch, 1995)

⁶ Het wortelteken ontbrak per abuis in de originele tekst, en is hier toegevoegd om de formule kloppend te maken.

⁷ De aanname van onafhankelijkheid gaat niet altijd op. Dat is zeker niet het geval indien een periode met zichzelf wordt vergeleken (bijv. een referentieperiode die wordt gepresenteerd zoals in Figuur 4), maar ook niet bij (naburige) perioden waarvan het tijdsverschil niet veel groter is dan het systeemgeheugen. Om misverstanden te voorkomen zijn de formules waarin de covariantie C wordt meegenomen hier toegevoegd.