

Stroomlijnen van uw meetnet

Paul Baggelaar en Eit van der Meulen

PB Icastat en AMO

De potentiële kracht van een meetnet

Een meetnet¹ kan een krachtig en efficiënt instrument zijn bij het ondersteunen van de taken van een organisatie. Bij ons advieswerk hebben we inmiddels ruim ervaring opgedaan met allerlei aspecten van het meetnet, zoals ontwerpen en inrichten (*wat, waar, wanneer en hoe meten*), opstellen van meetprocedures, valideren en zonodig corrigeren van meetdata, verwerken van meetdata tot gewenste informatie en het rapporteren daarvan². Omdat hierbij allerlei facetten van onze kennis aangeroepen worden, vooral statistische, hydrologische en geohydrochemische kennis, zijn we steeds meer plezier gaan beleven aan het werken met meetnetten. Daarbij hebben we echter ook moeten vaststellen dat de meetnetpotentie vaak niet ten volle beschikbaar is of niet volledig benut wordt. Deze notitie gaat in op de tekortkomingen die dat veroorzaken. Indien gewenst, gaan we graag met u na of deze ook voor uw meetnet spelen en hoe ze opgelost kunnen worden.

Mogelijke problemen van een meetnet

Nederland omvat inmiddels een groot aantal grootschalige meetnetten van ruimtelijke variabelen, zoals grondwaterstand en parameters van grondwater-, oppervlaktewater-, bodem-, of luchtkwaliteit. Deze meetnetten worden veelal beheerd door overheidsinstanties (het Rijk, Provincies, gemeenten), waterschappen, drinkwaterbedrijven en natuurorganisaties. Voor veel meetnetten komt het meetdoel neer op *het in beeld brengen van toestand en trend* (van de door dat meetnet beschouwde ruimtelijke variabelen). Bij een grondwaterstandsmetnet kan het meetdoel ook zijn *het reconstrueren van het ruimtelijke beeld van de grondwaterstandsverlaging door een grondwaterwinning, of het kalibreren en valideren van een grondwatermodel*.

De meeste van deze grootschalige meetnetten zijn enkele decennia geleden ingericht en daarna soms ook uitgebreid. Bij nadere beschouwing blijkt er echter zelden sprake te zijn van een gestroomlijnd meetsysteem dat zo efficiënt mogelijk (lees: zo goedkoop mogelijk) op de **gewenste** momenten de **gewenste** informatie aan de doelgroepen kan leveren. Dit kan meerdere oorzaken hebben, waarvan we hieronder de belangrijkste bespreken en daarbij tevens oplossingen aandragen (zie ook figuur 1). Die oplossingen komen er gebundeld op neer dat het meetnet wordt omgezet naar een meetsysteem (zie bijlage 1).

Probleem: Inrichting meetnet niet optimaal afgestemd op meetdoel

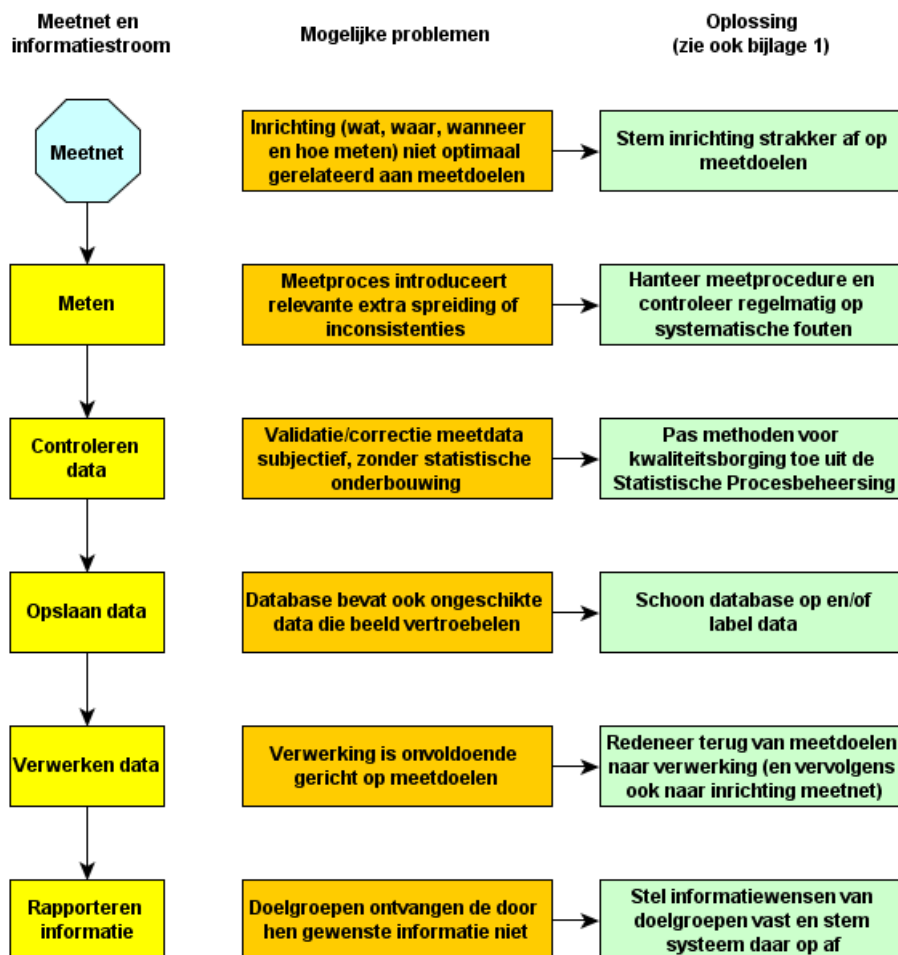
In het ideale geval is de inrichting van het meetnet (specificatie van het *wat, waar, wanneer en hoe meten*) afgeleid door terug te redeneren vanaf de informatie die het moet leveren (zie de figuren 1 en 4). Alleen dan is er garantie dat die informatie (inclusief de daarbij gewenste betrouwbaarheid) kan worden geleverd. Dit bewerkstelligen vereist kennis van steekproeftheorie, beschrijvende en

¹ Onder een meetnet verstaan we hier een verzameling meetpunten waar met enige regelmaat metingen worden gedaan van één of meer parameters, zodanig dat een beeld ontstaat van de ruimtelijke verdeling van relevant geachte aspecten van het beschouwde gebied en de ontwikkeling daarvan.

² Aan het eind van deze notitie vindt u een overzicht van door ons uitgevoerde studies die betrekking hadden op meetnetten.

toetsende statistiek en statistische optimalisatie, zodat daarvoor het best een statisticus kan worden geraadpleegd. Vroeger was dit niet gebruikelijk en werd het inrichten uitgevoerd door specialisten op basis van hydrologisch, biologisch of ecologisch 'inzicht'. Als consequentie vormde het resulterende meetnet doorgaans geen aselechte statistische steekproef van het te bestuderen gebied, maar een verzameling van min of meer beredeneerd geselecteerde meetlocaties. Soms zijn daarbij zelfs ook bewust worst-case- of best-case-locaties meegenomen (helaas zonder dit expliciet als zodanig vast te leggen). De mate van informatieverlies door een dergelijke subjectieve inrichting hangt af van het meetdoel. Als het meetdoel bijvoorbeeld *het in beeld brengen van de toestand* is, kan de subjectieve inrichting ertoe leiden dat de kengetallen van de te beschouwen variabele (zoals de concentratie van een bepaalde chemische / biologische parameter) niet zuiver³ kunnen worden geschat en dat evenmin de betrouwbaarheid van die schatting kan worden bepaald. Dat kan namelijk alleen als de meetlocaties zijn geselecteerd met een statistische steekproef, dat wil zeggen via verloting van coördinaten, eventueel na stratificatie naar homogene gebiedstypen.

Figuur 1: Enkele veel voorkomende problemen van meetnetten, evenals hun oplossingen.



³ Een zuivere schatting is een schatting zonder systematische fout. Het populatiegemiddelde van alle mogelijke schattingen is dan gelijk aan de werkelijke waarde.

Probleem: Kenmerken van meetfout veranderen

Het monitoren van een natuurlijk proces is lastig, doordat er vaak sprake is van aanzienlijke ruimtelijke en/of temporele variatie die het detecteren van voor ons relevante signalen bemoeilijkt. Het is daarom zaak de extra variatie die het meetproces aan de metingen toevoegt zoveel mogelijk te beperken. Tevens moet worden gewaarborgd dat de kenmerken van de meetfout niet veranderen, want anders zullen relevante signalen nóg moeilijker te detecteren zijn.

Een voorbeeld van een situatie waar de kenmerken van de meetfout kunnen veranderen, is het monitoren van de grondwaterstand met loggers (automatische drukopnemers). Dit meetprincipe wordt in Nederland vanaf circa 2004 in toenemende mate toegepast, maar inmiddels is uit diverse studies gebleken dat loggers na verloop van tijd drift kunnen gaan vertonen (een al of niet geleidelijk opbouwende systematische fout). Zonder gedegen kwaliteitsborging zal dit de meetinformatie ernstig vertroebelen (zie ook het volgende punt). Dit is overigens niet een louter academisch probleem, want het kan ertoe leiden dat tijdreeksanalyses van grondwaterstandreeksen onterecht relaties detecteren met ingrepen, wat verstrekkende consequenties kan hebben.

Probleem: Validatie en correctie meetdata subjectief

Het controleren van de meetdata is een belangrijke handeling in de keten van de informatiestroom (zie figuur 1). Dit omvat het valideren en aansluitend zonodig corrigeren van de meetdata. Om te kunnen waarborgen dat de meetdata daarbij niet subjectief worden geboetseerd naar ons conceptuele model van de werkelijkheid, dienen objectief onderbouwde criteria te worden toegepast. Maar dit blijkt zelden het geval te zijn. Dit is een gemis, want bijvoorbeeld in het vakgebied van de Statistische Procesbeheersing zijn daarvoor diverse methoden ontwikkeld.

Probleem: Verwerking onvoldoende gericht op meetdoelen

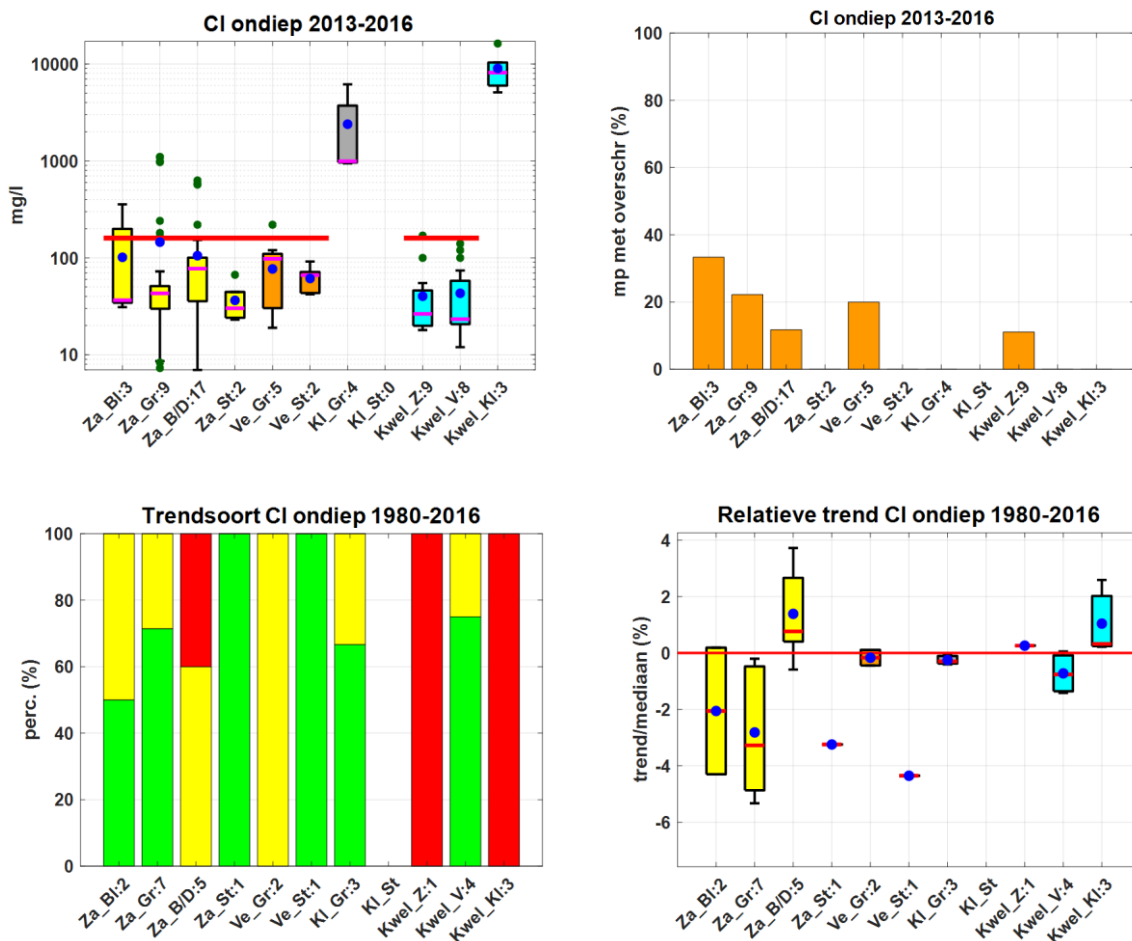
De meeste meetnetten dienen om toestand en trend van één of meer parameters in beeld te brengen. Het ligt dan voor de hand bij de verwerking zowel toestandanalyse als trendanalyse toe te passen. Maar in de praktijk blijken de mogelijkheden daartoe niet altijd volledig benut te worden. Daarom hebben wij een toolbox van methoden ontwikkeld voor deze verwerkingsstap. Figuren 2 en 3 tonen enkele voorbeelden van de uitvoer daarvan, in dit geval voor een meetnet grondwaterkwaliteit. Bij de trendanalyse wordt met het door ons ontwikkelde programma *Trendanalist* voor elke meetreeks de daarvoor meest geschikte trendanalysemethode gehanteerd. Dit geschiedt op basis van specifieke karakteristieken van de meetreeks, zoals het soort kansverdeling en het al of niet optreden van autocorrelatie en/of seizoenseffecten. Dit maatwerk geeft meer garantie op statistisch verantwoorde resultaten dan wanneer alle reeksen met één en dezelfde methode op trend worden geanalyseerd (wat tot dusverre de meest gehanteerde aanpak was).

Als het meetdoel is *het reconstrueren van het ruimtelijke beeld van de grondwaterstandsverlaging door een grondwaterwinning*, kan dit worden gerealiseerd door tijdreeksmodellen te ontwikkelen van de met het meetnet verzamelde grondwaterstandreeksen, met als invoerreeksen neerslag, verdamping en grondwaterwinning. Daarvoor hebben wij het programma *Tijdreeksanalist* ontwikkeld. Dit stelt in staat de Box-Jenkins-cyclus van model-identificatie, -schatting en – verificatie iteratief toe te passen, tot de modelresiduen voldoen aan de randvoorwaarden om met het model statistisch onderbouwde uitspraken te kunnen doen over de grootte van de relatie tussen grondwaterstand en grondwaterwinning, inclusief het bijbehorende betrouwbaarheidsinterval.

Probleem: Doelgroepen ontvangen gewenste informatie ongeregeld en/of inconsistent

Door het ontbreken van procedures voor verwerking en onbekendheid met de door de doelgroepen gewenste rapportagefrequentie zijn er nog maar weinig meetnetten waarover op regelmatige basis wordt gerapporteerd. Rapportages vinden dan alleen plaats op ad hoc-basis en opeenvolgende rapportages kunnen ook verschillen in uitvoering, wat onderlinge vergelijkingen bemoeilijkt. Verder kan weinig rapporteren ertoe leiden dat het meetnet als minder relevant wordt gezien en daardoor vatbaar wordt voor bezuinigingsoperaties. Dit kan worden opgelost door de rapportagefrequentie en -inhoud onderdeel te maken van een procedure (zie figuur 4, bijlage 1).

Figuur 2: Voorbeelden van uitvoer van onze toolbox. Toestandboxplot (linksboven), Overschrijdingsdiagram (rechtsboven), Trendsoortdiagram (linksonder) en Trendboxplot (rechtsonder). Er worden hier 11 gebiedstypen onderscheiden, met als indelingsfactoren landgebruik, grondsoort en hydrologische situatie (infiltratie, kwel of intermediair). Achter elke gebiedstypecode is het aantal meetpunten vermeld.

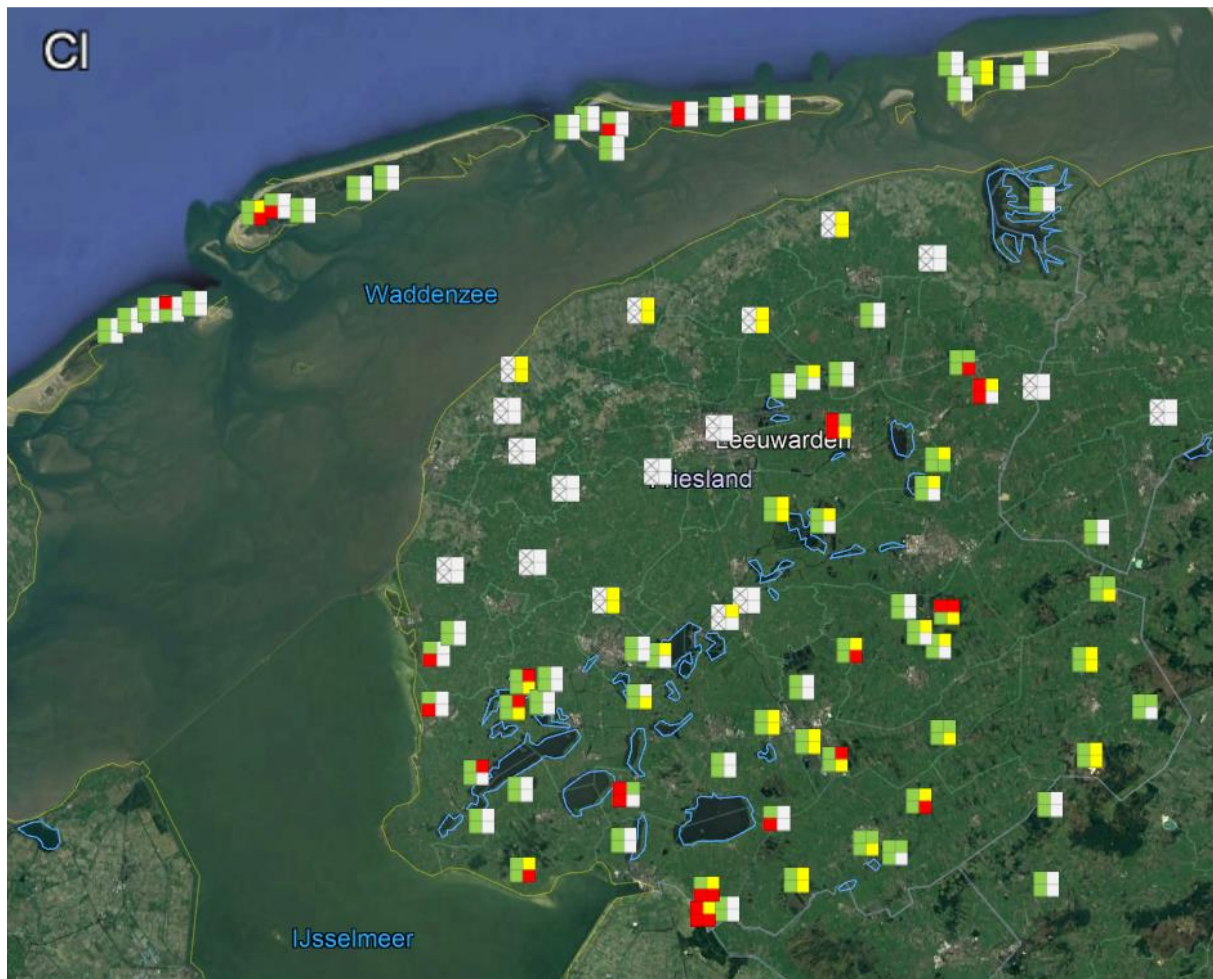






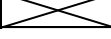

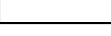
Toestandboxplot - geeft per gebiedstype de boxplot van de meetwaarden over een bepaalde periode. Om de toestand te kunnen beoordelen is tevens per gebiedstype de grenswaarde weergegeven (160 mg/l, rode lijn).
Overschrijdingsdiagram - toont per gebiedstype het percentage meetpunten waar in die periode één of meer grenswaardeoverschrijdingen optreden.
Trendsoortdiagram - toont per gebiedstype de relatieve verdeling van de drie trendsoorten, namelijk Stijging (rood), Geen trend (geel) en Daling (groen), in de vorm van een gestapeld staafdiagram. De relatieve verdeling

is berekend door per trendsoort het aantal meetpunten met die soort te delen door het aantal bij de trendanalyse beschouwde meetpunten.

Trendboxplot - toont per gebiedstype de boxplot van de geschatte trends van de meetreeksen, ongeacht of deze statistisch significant zijn of niet. De trendgrootte is hier relatief uitgedrukt ten opzichte van de mediaan van de betreffende meetreeks.

Figuur 3: Voorbeeld van ruimtelijke uitvoer van onze toolbox. Het betreft de verdeling van toestand- en trendoorden van chloride, voor de klassen Ondiep en Diep. De gehanteerde grenswaarde voor het toestandsoordeel is 160 mg/l. Voor de kleigebieden geldt er geen grenswaarde.

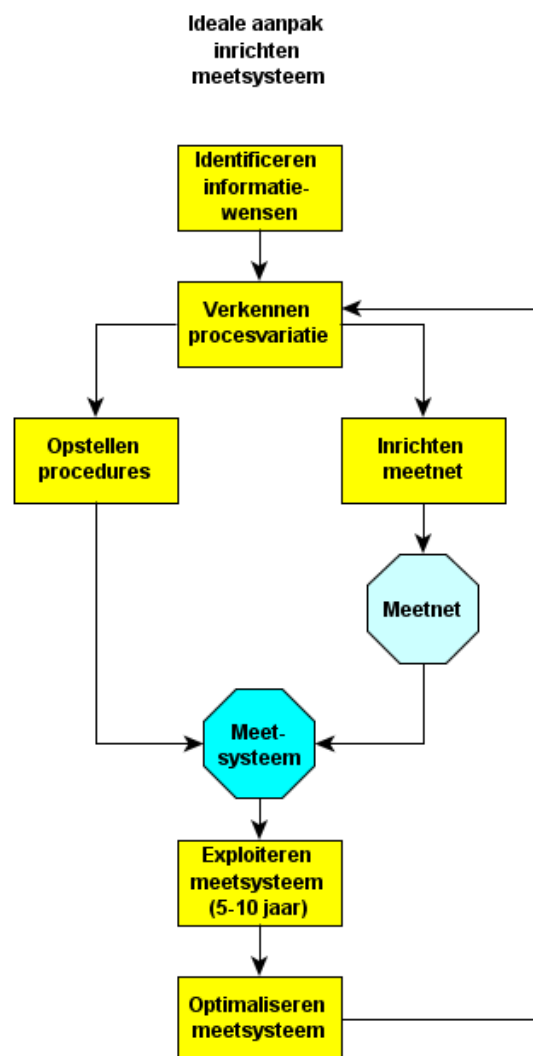


Kaart-icoon		Toestand (2013 t/m 2016)	Trend (2000 t/m 2016)
Toestand ondiep	Trend ondiep	 geen overschrijding	 stat. sign. verbetering
Toestand diep	Trend diep	 wel overschrijding	 stat. sign. verslechtering
		 geen grenswaarde	 geen stat. sign. trend
			 te weinig meetinformatie

Bijlage 1: Van meetnet naar meetsysteem

Om te kunnen waarborgen dat een meetnet zo efficiënt mogelijk (lees: zo goedkoop mogelijk) op de **gewenste** momenten de **gewenste** informatie aan zijn doelgroepen levert, dient het niet alleen optimaal te zijn ingericht, maar dienen tevens de voor zijn informatiestroom benodigde handelingen te zijn vastgelegd in procedures. Dat garandeert behoud van momentum, bezieling en consistentie. De combinatie van een meetnet en de procedures voor zijn informatiestroom duiden we aan als een **meetsysteem**. Het stroomschema van figuur 4 toont met welke stappen een meetsysteem kan worden ingericht.

Figuur 4: Stroomschema voor het inrichten van een meetsysteem



Bijlage 2: Overzicht van door ons uitgevoerde studies die betrekking hadden op meetnetten

- Kenmerken meetfout bij automatisch meten grondwaterstand door Provincie Overijssel (oktober 2018).
- Toestand en trends grondwaterkwaliteit Provincie Fryslân (juni 2018).
- Trendanalyse dataset Brede Screening Maasstroomgebied (mei 2018).
- Imputeren debietreeksen Waterschap De Dommel (november 2017).
- Evaluatie reallocatie Mander met tijdreeksanalyses grondwaterstand (oktober 2017).
- Trendanalyses voor presentaties op de website van waterschap Zuiderzeeland (november 2016).
- Verlagingsbeelden zeven Overijsselse drinkwaterwinningen, gereconstrueerd met tijdreeksmodellering grondwaterstand (september 2016, Provincie Overijssel).
- Inventarisatie nulpuntsdrift waterdruksensoren Waterschap De Dommel (juli 2016).
- Ontwikkeling Litter Analyst (versie 3, februari 2016, RWS, OSPAR), applicatie voor het uitvoeren van trendanalyse op strandafval langs Europese stranden.
- Hoe een nulpuntsdrift in niveaumetingen van waterdruksensoren te detecteren (november 2015, Waterschap De Dommel).
- Vrachtberekeningen waterkwaliteitsparameters meetpunten oppervlaktewater en effluenten rwzi's (september 2015, waterschap Aa en Maas).
- Definitiestudie verlagingsbeelden Overijsselse drinkwaterwinningen (september 2015, Provincie Overijssel).
- Datavalidatie van oppervlaktewatermeetreeksen Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR), met Delft-FEWS (vanaf maart 2015).
- Beoordelen mogelijkheden clusteren waterlichamen KRW-meetnet Rijn-Oost (juni 2015, waterschappen Rijn-Oost).
- Ontwikkeling van de applicatie Litter Analyst (versie 2, april 2015, RWS).
- Beoordelen grondwaterstandreeksen voor ijken en valideren van grondwatermodellen (februari 2015, Vitens en Provincie Overijssel, in samenwerking met Witteveen & Bos).
- Naar betrouwbare en bruikbare bodemparameters Overijsselse drinkwaterwinningen (december 2014, Provincie Overijssel).
- Definitiestudie verlagingsbeelden Overijsselse drinkwaterwinningen (december 2014, Provincie Overijssel).
- Evaluation and fine-tuning of a procedure for statistical analysis of beach litter data (oktober 2014, RWS).
- Trendanalyse oppervlaktewaterkwaliteit waterschap Rivierenland periode 2008 t/m 2013 (april 2014).
- Definitiestudie achtergrondverlaging in de provincie Overijssel (maart 2014). Statistische analyses van grondwaterstandsreeksen voor het verkrijgen van een ruimtelijk beeld van de achtergrondverlaging.
- Invloed meetinterval op trenddetectiekans waterkwaliteit Maas bij Eijsden, in kader van optimalisatie meetfrequentie chemische oppervlaktewaterkwaliteit (maart 2014, RWS).
- In beeld brengen ruimtelijke verdeling GHG Hellendoorn (november 2013, gemeente Hellendoorn/ HW Grobbe).
- Trendanalyse oppervlaktewaterkwaliteit waterschap Rivierenland (mei 2013).
- Imputeren van ontbrekende waarden in RIWA-base (2013). Vergelijken van verschillende imputermethoden, waaronder Random Forest (uit het werkveld Machinaal Leren).

- Evaluatie reallocatie grondwaterwinning Mander 2012 (juni 2013, Witteveen & Bos).
- Integrale rapportage bodem- en grondwaterkwaliteit Drenthe (2013, provincie Drenthe, in samenwerking met Alterra).
- Aanpassing Lozingseis-assistent (standalone Matlab programma van 2005) voor huidige Windows-systemen (2012, RWS).
- Evaluatie Meetprogramma Hoogwater Lobith en Eijsden (2012, RWS).
- Verbetering vrachtschattingen IJsselmeer en Noordelijk Deltabekken (2012, RWS/Deltares).
- Enkele adviezen over schatten van het percentage objecten met fout vermelde eigenschappen in een database (augustus 2011, RWS Data-ICT-Dienst).
- Trendanalyse meetnetten Hoogheemraadschap van Rijnland (mei 2011).
- Is de oppervlaktewaterkwaliteit van waterschap Rijn en IJssel recent verslechterd? (juli 2011, trendanalyse en interventie-analyse).
- Vaststellen nauwkeurigheid jaarvrachtschattingen opgeloste stoffen (2010, RWS/Deltares).
- Ontwikkeling van het programma Data2Excel. Dit leest waterkwaliteitsgegevens in uit een database, voert normtoetsing en trendanalyses uit en presenteert de resultaten in tabbladen van Excel (Vitens).
- Statistische reconstructie invloed grondwaterwinning Nij Beets op grondwaterstanden (2010, Vitens, tijdreeksanalyse).
- Historische en toekomstige ontwikkelingen chloridebelasting in het traject Lobith tot Andijk (2010, RIWA-Rijnwaterbedrijven, tijdreeksanalyse).
- Risicoraming innamestops waterproductiebedrijf Heel (2010, WML).
- Statistische analyse waterkwaliteit Dwarsdiep (2009, Waterschap Noorderzijlvest).
- Reconstructie invloed grondwaterwinning Losser op grondwaterstand met tijdreeksanalyse (2008, Vitens, tijdreeksanalyse).
- Statistische analyse waterkwaliteit in het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel (2008, trendanalyse).
- Reconstructie invloed grondwaterwinning Hammerfliet op grondwaterstand met tijdreeksanalyse (2008, Vitens).
- Statistische vergelijking gegevens meetlocaties Grensmaas (2007, RWS).
- Reconstructie effect van stopzetten waterwinning Brucht op grondwaterstand met tijdreeksanalyse (2007, Vitens).
- Kwaliteitscontrole grondwaterstandsreeksen Mander (2007, Vitens).
- Toetsing chemische toestand oppervlaktewateren beheersgebied Waterschap De Dommel (2007).
- Reconstructie invloed grondwaterwinning 't Klooster op grondwaterstand met tijdreeksanalyse (2007, Waterschap Rijn en IJssel).
- Opschonen database Waterschap De Dommel (2007).
- Tijdreeksanalyse effecten verruiming Westerschelde (2006, RWS).
- Statistische validatie ecotopenkaarten van de Westerschelde (2006, RWS).
- Evaluatie hydrologische effecten stopzetten grondwaterwinning PWN in Zuid-Kennemerland (2006, PWN).
- Schets van de nieuwe grondwatersituatie in het westelijk duingebied van Zuid-Kennemerland (2004, PWN).
- Handleiding Naar een Meetsysteem Grondwaterkwaliteit bij Grondwaterwinning (1995, voor Kiwa O&A, het huidige KWR).

Over ons

Paul Baggelaar



Ik ben in 1981 afgestudeerd als geografisch hydroloog aan de Vrije Universiteit Amsterdam. Mijn werkzaamheden betreffen het gebied van milieustatistiek, met als belangrijkste klanten Rijkswaterstaat, drinkwaterbedrijven, waterschappen, Provincies, ingenieursbureaus en onderzoeksinstituten.

Inmiddels heb ik meer dan 35 jaar professionele ervaring met de statistische aspecten van milieuonderzoek, met name waar het gaat om het statistisch verantwoord opzetten, verwerken en rapporteren van onderzoek van grondwater en oppervlaktewater.

Deze ervaring is ondermeer opgedaan bij KWR (voorheen Kiwa Water Research geheten), het onderzoeks- en kenniscentrum van de Nederlandse drinkwaterbedrijven en ook bij opdrachten voor diverse overheidsinstanties. Vanaf 1998 ben ik werkzaam als zelfstandig statistisch adviseur. Daarbij werk ik meestal samen met Eit van der Meulen (zie hieronder).

Ik ben ondermeer deskundig op de gebieden beschrijvende en toetsende statistiek, meetsystemen (met name van de grond- en oppervlaktewaterkwaliteit en van de grondwaterstand), tijdreeksanalyse (Box-Jenkins-methode en trendanalyse), het voorspellen van variabelen (zoals het drinkwatergebruik op korte of lange termijn), ringonderzoeken (van laboratoria) en keuringssystematiek (zoals die van huishoudelijke watermeters). Over deze onderwerpen heb ik diverse rapporten en publicaties vervaardigd en ook veel lezingen gehouden.

Ik beleef niet alleen veel plezier aan het onderzoeken, maar ook aan het daarna overbrengen van de opzet en bevindingen, zowel schriftelijk (rapporteren), als mondeling (presenteren).

Eit van der Meulen



Ik ben afgestudeerd in 1985 als toegepast wiskundige aan de Universiteit Twente. Na vier jaar bij TNO (Delft, afdeling Binnenlucht / Meetstrategie) en twee jaar bij de Universiteit Twente te hebben gewerkt, ben ik in 1989 gestart als zelfstandige met het wiskundig ingenieursbureau AMO.

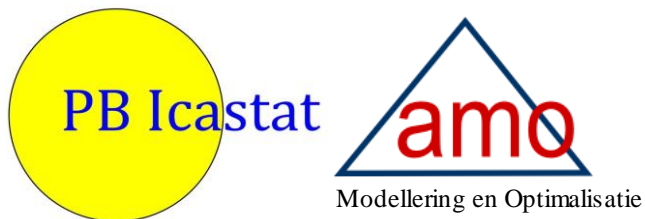
Ik ben werkzaam geweest op vele onderzoeksgebieden, ondermeer voor Rijkswaterstaat Waterdienst, verschillende waterleidingbedrijven en waterschappen.

In de programmeeromgeving van Matlab heb ik ondermeer de gebruiksvriendelijke applicaties *Tijdreeksanalist*, *Trendanalist*, *Lozingseisassistent* en *Litter Analyst* ontwikkeld (de laatste drie in samenwerking met Paul Baggelaar).

Tijdreeksanalist is een applicatie voor het uitvoeren van tijdreeksanalyse volgens de Box-Jenkins-methode, veelal toegepast op het modelleren van grondwaterstanden. *Trendanalist* is een applicatie voor het uitvoeren van statistische trendanalyses. *Lozingseis-assistent* is een applicatie om WVO-vergunningverleners en handhavers te helpen bij het opstellen van lozingseisen voor bedrijven die lozen op het oppervlaktewater, zodanig dat deze eenduidig, uniform, handhaafbaar en naleefbaar zijn. *Litter Analyst* is een applicatie voor het uitvoeren van statistische analyses op strandafval langs de Europese stranden (OSPAR-landen).

Ik ben deskundig op het gebied van tijdreeks- en trendanalyse, datamining (grote datasets en Machinaal Leren), meetnetoptimalisatie en statistiek, doorgaans met het doel meer inzicht te krijgen in dynamische systemen of complexe processen.

Ik werk veelal samen met Paul Baggelaar en steeds met plezier en succes.



PB Icastat

Paul Baggelaar

Niagara 18

1186 JP Amstelveen

Tel.: 06 222 13 533

E-mail: paul.baggelaar@planet.nl

AMO (Adviesbureau Modellering en Optimalisatie)

Eit van der Meulen

Deldenerstraat 81

7551 AC Hengelo

Tel.: 074 785 01 24 / 06 248 65 321

Email : amo@amo-nl.com

Website: <https://www.amo-nl.com/amo/> of <https://www.amo-nl.com/nieuws>