



Annemieke Marsman, Deltares
Frans van Geer, Deltares
Gerben Tromp, Waterschap Groot Salland

Goede monitoring levert wat op

Om hun taak goed uit te kunnen oefenen, hebben waterbeheerders kennis nodig van het watersysteem. Daarom investeren ze veel tijd en geld in het uitvoeren en analyseren van metingen. Om de investeringen in de hand te houden, proberen waterbeheerders zo effectief mogelijk te meten. Meetnetten worden doorlopend geoptimaliseerd. Bestaande methoden voor meetnetoptimalisatie gaan uit van een gewenst niveau van nauwkeurigheid waarmee parameters ruimtelijk of temporeel in beeld moeten worden gebracht. Op basis hiervan wordt bepaald welke meetpunten kunnen verdwijnen of waar nieuwe meetpunten moeten komen. Een nadeel van deze methode is dat moeilijk 'hard' gemaakt kan worden wat het gewenste nauwkeurighedsniveau zou moeten zijn. In dit artikel wordt daarom een andere benaderingswijze gepresenteerd. Hierbij wordt uitgegaan van kosteneffectiviteit. Het realiseren en onderhouden van meetpunten kost geld, maar levert ook informatie op en een opbrengst in geld. Deze nieuwe benaderingswijze is toegepast op het grondwatermeetnet, maar zou ook voor andere meetnetten interessant kunnen zijn.

Een kosten-batenanalyse bestaat uit een balans met alle voordelen aan één kant van de balans en alle kosten, de risico's en de nadelen aan de andere kant. Deze balans kan inzicht geven in het beoordelen in hoeverre de te verwachten baten opwegen tegen de te verwachten kosten en risico's. Door de kosten, baten en de risico's te beïnvloeden, kan gezocht worden naar een balans die optimaal is. Het risico wordt gedefinieerd als kans x effect. Door de kans te verkleinen, wordt het risico kleiner en zal op deze manier de balans verschuiven.

In het geval van meetnetoptimalisatie bestaat de balans enerzijds uit de kosten voor meetpunten/meetfrequentie (het negatieve element) en anderzijds uit de meetnetopbrengsten (het positieve element). De meetnetopbrengsten zijn lastiger te definiëren. In het algemeen kunnen deze worden beschouwd als de reductie in schade als gevolg van verkeerde beslissingen die genomen zijn op basis van onzekere informatie. De onzekere informatie is de kans op een bepaalde waarde die afhankelijk is van het aantal metingen wat weer invloed heeft op de kosten (het negatieve element van de balans neemt toe). Op deze manier kan gemanipuleerd worden totdat een optimum ontstaat (minimum in kosten).

Metingen van de grondwaterstand worden vaak gebruikt voor het bepalen van vlakdekkende informatie over bijvoorbeeld de grondwaterstand. Deze informatie wordt de

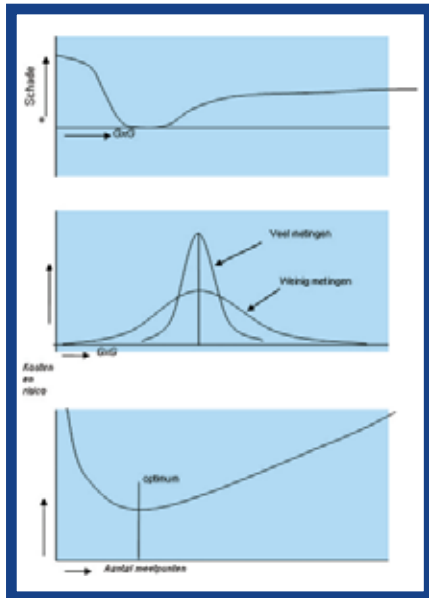
doelvariabele genoemd. De onzekerheid in de doelvariabele is met recent ontwikkelde technieken goed te bepalen. Kennis op dat gebied is ruimschoots aanwezig en geaccepteerd. Voor het ontwerp van een meetnet is nu voor de ontwerpers de vraag tot hoever je de onzekerheid in de doelvariabele wilt reduceren met behulp van het aantal meetpunten. Dit ontwerp is vaak niet gefundeerd op een afweging tussen kosten en opbrengst en is daardoor vaak voornamelijk afhankelijk van het budget wat beschikbaar is. Hierdoor wordt in de praktijk wellicht teveel of te weinig gemeten.

In deze studie is de onzekerheid in de doelvariabele enerzijds doorvertaald naar opbrengstderving (schade). Anderzijds is de relatie gelegd met de kosten die gemaakt worden om een meetnet te installeren en waar te nemen. Als teveel wordt gemeten, zijn de meetkosten heel hoog en is de kans op opbrengstderving heel laag. Als te weinig wordt gemeten, zijn de meetkosten heel laag en is de kans op opbrengstderving hoog. Door deze economische waarde toe te voegen kan een balans gevonden worden tussen enerzijds de meetkosten (en daarmee de mate van onzekerheid in de doelvariabele) en anderzijds het risico van opbrengstderving. Het optimum is daar waar de som van deze kosten en risico een minimum heeft en een kosteneffectief meetnet oplevert.

Als eerste moet een doelvariabele worden gekozen die een duidelijke relatie heeft met de kosten en baten van een meetnet. Vervolgens moet de doelvariabele door

een meetnet kwantitatief bepaald kunnen worden. In lijn met Waterlood is als doelvariabele gekozen voor een vlakdekkend beeld van de de gemiddelde hoogste en gemiddelde laagste grondwaterstand (GHG en GLG, vanaf hier GxG genoemd). Deze zijn afhankelijk van het type landgebruik. Per landgebruik wordt een kosten-batenrelatie met de GxG gedefinieerd. Om een kosten-batenanalyse te doen voor een grondwatermeetnet, moeten afwijkingen van de gewenste GxG uitgedrukt worden in economische grootheden. Dit wordt gedaan met behulp van zogeheten schadefuncties. Deze relaties kunnen per landgebruik behoorlijk verschillen: vaak is voor landbouw een wat drogere GxG nodig voor een optimale opbrengst, terwijl natuur beter gedijt bij een wat nattere GxG. Afwijkingen van de gewenste GxG leveren ook verschillende schades op. Door deskundigen van Waterschap Groot Salland zijn de relaties tussen GxG en baten-opbrengstderving (in euro's) bepaald. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen landbouwschade met behulp van de HELP-tabellen, natuurschade (wat kost het om een natuurgebied opnieuw aan te leggen als de natuur schade heeft ondervonden van droogte of wateroverlast?) en schade door wateroverlast op een bungalowpark.

Een voorbeeld van een schadefunctie is te zien in afbeelding 1, waar de schade als functie van de GxG is geplot voor een landbouwgewas. Op deze manier kan per locatie of gridcel in een model een totale schade als functie van de GxG bepaald

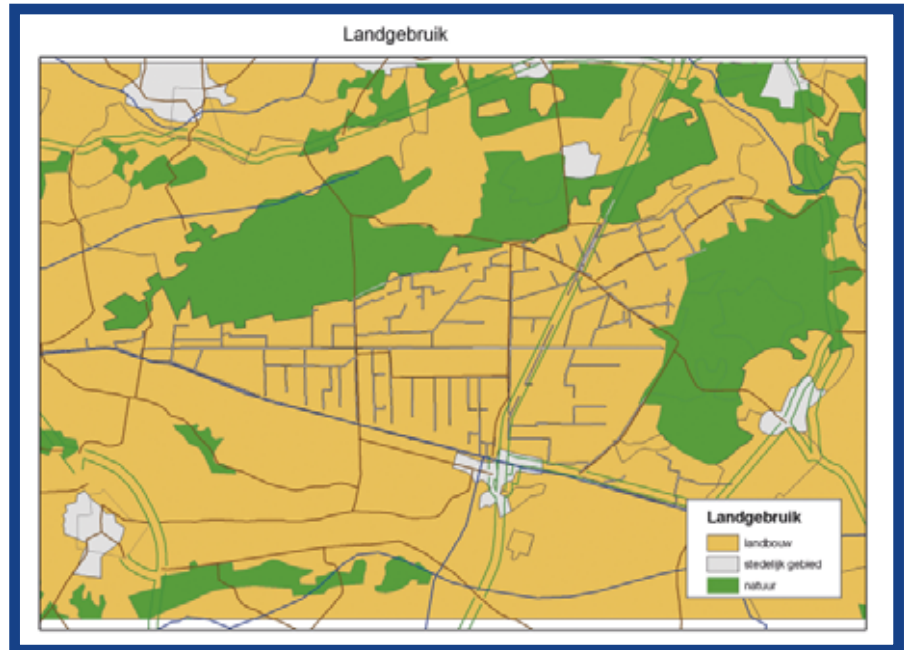


Afb. 1: a) Schade als functie van GxG voor landbouw, b) Kans als functie van GxG, c) Kostenbalans als functie van het aantal meetpunten.

worden door de schades van alle landgebruikstypes in deze gridcel te sommeren. De actuele GxG wordt bepaald met behulp van een meetnet en is dus niet exact bekend: de onzekerheid is afhankelijk van het aantal grondwatermeetpunten.

In de grafieken is te zien hoe de onzekerheid gerelateerd is aan het aantal meetpunten. Als veel wordt gemeten, is de onzekerheid in de actuele GxG klein, terwijl - wanneer weinig wordt gemeten - de onzekerheid in de actuele GxG groter is. De kans dat de actuele GxG in de buurt ligt van de gewenste GxG is dus groot als de onzekerheid in de actuele GxG klein is. In de buurt van de gewenste GxG is de kans van optreden weliswaar groot, maar de schade klein en daarmee het product van kans maal schade ook. Verder van de gewenste GxG neemt de kans dat de actuele GxG optreedt af, maar de bijbehorende schade neemt toe. De kans op zeer hoge of lage actuele GxG is zeer klein, waardoor het product kans maal schade weer kleiner wordt. Het risico bij een bepaalde meetstrategie is nu gelijk aan de integraal van de kans op een bepaalde GxG maal de bijbehorende schade. Het risico is dus een functie van de meetstrategie. Veel informatie en dus veel meetpunten levert een zeer nauwkeurige schatting van de actuele GxG op. Daarmee blijft tevens het risico tot een minimum beperkt. Bij weinig meetinspanning is de kans groot dat de actuele GxG verder afwijkt van de gewenste GxG en is dus het risico om schade te leiden groot. In deze benadering wordt er vanuit gegaan dat de waterbeheerder daadwerkelijk de schade kan en zal reduceren. Voor elke gridcel van een model kan het risico worden bepaald. Het totale risico voor het gebied is de som van de risico's voor alle gridcellen. Het totale risico (in euro's) kan worden uitgezet als functie van de meetstrategie (aantal metingen).

De meetkosten zijn afhankelijk van het aantal meetpunten. Er bestaan vaste en variabele kosten. Als het risico (uitgedrukt in euro's) en de kosten bij elkaar worden opgeteld, dan ontstaat de curve zoals te zien is in



Afb. 2: Het landgebruik in het pilotgebied Dalmsholte.

afbeelding 1. Hierin is een minimum te zien. Dit minimum geeft het meetnetontwerp aan waarbij de som van kosten en risico's minimaal is.

Methode

In een praktijksituatie bestaat een enorme hoeveelheid mogelijke meetnetten. Niet alleen het aantal meetpunten, maar ook de locaties van de meetpunten kunnen variëren. Om op een efficiënte wijze tot een optimale meetnetopmaak te komen, hebben we gebruik gemaakt van een genetisch algoritme. Hierin worden eerst potentiële meetlocaties gedefinieerd. Door hieruit een aantal locaties te selecteren, wordt een kandidaat-meetnet verkregen. In principe kan hiervoor de som van kosten en risico's worden bepaald. Het meetnet met de laagste som is het optimale meetnet. Het genetische algoritme zoekt op een slimme manier naar dit optimale meetnet, zonder alle kandidaat-meetnetten uit te hoeven rekenen. De theoretische curve uit afbeelding 1 wordt dus in de praktijk niet volledig uitgerekend.

Pilot

De methode is getest op het pilotgebied Dalmsholte van Waterschap Groot Salland. Dit gebied kent een grote diversiteit in landgebruik (zie afbeelding 2). Van Dalmsholte is een grondwatermodel beschikbaar. Hierin is per gridcel gekeken naar schadefuncties en risico's. De ruimtelijke verdeling van de GxG per gridcel volgt uit het model; elke gridcel kan meerdere landgebruikfuncties hebben. Per gridcel kunnen de schades gesommeerd worden tot een totale schade als functie van de GxG. Hieruit is een optimale GxG te bepalen.

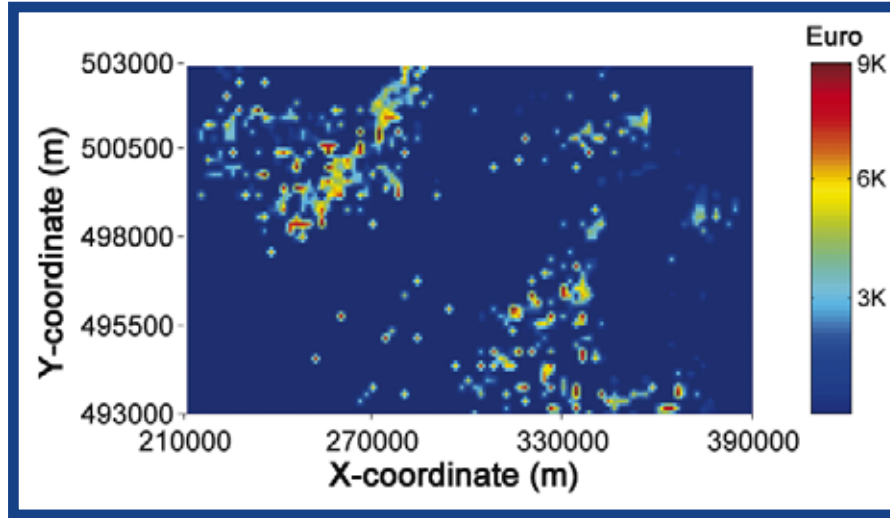
In afbeelding 3 is de reductie van het risico gegeven zoals dat kan worden bereikt met het optimale meetnet. In het laaggelegen midden was het risico op schade klein en is dus ook de reductie niet groot. Dit wordt veroorzaakt door de eerste kleilaag: de weerstand van deze laag is dermate hoog dat de onzekerheid

in de GxG heel klein is en de ruimtelijke representativiteit van een meetpunt is heel hoog. In de noordwesthoek van het gebied kan met het meetnet een flinke reductie van het risico worden bereikt. Dit geldt ook voor het oostelijke gebied grenzend aan het laaggelegen midden. Dit wordt veroorzaakt door de hoge kosten die zijn gemoeid in geval van schade aan de natuur.

Uiteraard zijn de invoergegevens schattingen van de werkelijkheid. Om inzicht te krijgen hoe gevoelig de resultaten zijn voor de onzekerheid in de verschillende invoergrootheden, is een aantal varianten doorgerekend. In elke variant is slechts één variabele veranderd ten opzichte van de basisvariant. Gevarieerd is met de schadefunctie (door respectievelijk met een factor 2 en een factor 0,5 te vermenigvuldigen). In de derde en vierde variant is de weerstand van de eerste kleilaag vermenigvuldigd met respectievelijk een factor 0,2 en een factor 5. Ten slotte zijn in de vijfde variant de meetkosten gehalveerd.

Alle varianten laten voor de reductie van het risico als gevolg van het meetnet hetzelfde patroon zien als de basisvariant. Het patroon bij de dubbele schadefunctie en de kleinere c-waarde zijn opgeblazen ten opzichte van de basisvariant, terwijl het patroon van de gehalveerde schadefunctie en de grotere c-waarde een reductie van het patroon laten zien. Bij alle varianten heeft het middengebied een laag risico; ook de reductie is hier dus laag. Het risico in het noordwesten is groot, maar kan voor een groot deel worden ondervangen door het meetnet. Ook het hoge risico aan de oostkant van het middengebied kan door het meetnet worden gereduceerd.

Zoals te verwachten is het aantal meetpunten van het optimale meetnet bij een dubbele schadefunctie groter dan bij de basisvariant. Het aantal meetpunten bij de gehalveerde schadefunctie is kleiner dan bij de basisvariant. Het verschil van het aantal



Afb. 3: Reductie van het risico.

meetpunten ten opzichte van de basisvariant is echter niet meer dan 15 tot 20 procent. Dit betekent dat het aantal meetpunten in deze pilotstudie minder gevoelig is voor de schadefunctie dan op voorhand was gedacht.

De weerstand van de eerste kleilaag is in deze pilotstudie het meest gevoelig. Als de weerstand groot is, is het risico klein, omdat de onzekerheid in de GxG klein is. Bovendien hebben meetpunten een grote ruimtelijke

representativiteit. Bij een kleine c-waarde is het omgekeerde het geval. De halvering van de meetkosten maakt het economisch lonend om meer meetpunten in te zetten om het risico te reduceren.

Conclusies

De kaart met het risico geeft een ruimtelijk beeld van de risico's als gevolg van een onzekerheid in de schatting van de GxG. Het geeft een scherper beeld van de

ruimtelijke verschillen en de wenselijkheid van aanvullende informatie uit het meetnet. Daarnaast geeft de analyse aanknopingspunten om vast te stellen hoeveel meetpunten vanuit economisch oogpunt optimaal zijn voor een bepaalde doelstelling. Voordat de methode om hun meetnet te optimaliseren voor de waterbeheerders toepasbaar is, dient de methode te worden uitgebreid met de afweging van waterbeheerders om maatregelen te nemen. Dit betreft de vraag in hoeverre waterbeheerders ook daadwerkelijk iets kunnen doen om de schade te verkleinen. In de praktijk is dit fysiek niet altijd mogelijk of brengt het onevenredige investeringen met zich mee, zodat het economisch/bestuurlijk niet mogelijk is.

LITERATUUR

- 1) Van Bracht M. (2001). Made to measure: information requirements and groundwater level monitoring networks. PhD Thesis. Vrije Universiteit Amsterdam.
- 2) Van Geer F., A. Marsman en G. Janssen (2008). Quantifying the economic benefit of groundwater monitoring, a pilot study. Calibration and reliability in groundwater modelling: credibility of modelling. Proceedings of ModelCARE'2007, Denmark.
- 3) Van Geer F., A. Marsman en G. Janssen (2007). Meetnetontwerp op basis van een kosten-batenanalyse. Pilot Waterschap Groot Salland. TNO-rapport.