

Is de drinkwatersector klaar voor de toekomst met hydroinformatica?

Peter van Thienen (KWR)

De drinkwatersector is gewend te denken aan de lange termijn en de onzekerheden die dat met zich meebrengt. Nieuwe ontwikkelingen geven meer onzekerheid voor de toekomst. Hoe kan de sector het beste omgaan met die onzekerheid in de (drink)watervoorziening? De afgelopen tijd zijn software en modellen ontwikkeld, die hierbij kunnen helpen, en die deels al op grote schaal worden toegepast. Deze maken deel uit van wat we tegenwoordig hydroinformatica noemen.

De drinkwatersector is gewend te denken aan de lange termijn. De gebruikte infrastructuur kent een levenscyclus van decennia tot meer dan een eeuw. Het voorspellen van de toekomst op deze termijn is altijd al onzeker geweest. Dat de groei van de huishoudelijke watervraag na 1990 plotseling afvlakte en min of meer constant werd [1], was bijvoorbeeld een verrassing. De sector is gewend om met dergelijke onzekerheid om te gaan. De laatste tijd wordt echter een aantal nieuwe ontwikkelingen geïntroduceerd en verlopen bestaande ontwikkelingen sneller dan we gewend waren, waardoor toekomstvoorspellingen veel onzekerder worden.

De belangrijkste van deze ontwikkelingen is klimaatverstoring. Vooral de afgelopen twee decennia worden we geconfronteerd met een opeenstapeling van weersomstandigheden die voorheen als extreem en 'zeldzaam' werden beschouwd. Deze worden aan klimaatverstoring toegeschreven [2]. Zo lijken bij Atlantische orkanen vooral de intensiteit en de grootte van het verspreidingsgebied toe te nemen. Bij bijvoorbeeld hittegolven en droogtes zien we een toename in frequentie en intensiteit. Dit heeft gevolgen voor het waterbeheer en de menselijke watercyclus. Zo neemt de piekwatervraag toe en de beschikbaarheid van water voor de productie van drinkwater, maar ook voor de landbouw, af. Maar ook de piekafvoer van hemelwater wordt bijvoorbeeld groter.

Het nieuwe normaal?

Toch kunnen we de huidige situatie niet als het nieuwe normaal beschouwen. Sinds het einde van het pre-industriële tijdperk is de aarde ongeveer 1 graad opgewarmd [3] en die opwarming lijkt door te zetten. Het zal lastig worden om op tijd maatregelen te nemen om de opwarming tot 1,5-2 graden te beperken, zoals in het akkoord van Parijs is afgesproken. Als alle tot nu toe toegezegde maatregelen worden doorgevoerd en gestelde doelen voor emissiereductie worden gerealiseerd, lijkt de temperatuurstijging uit te komen tussen 2,3 en 3,7, met een meest waarschijnlijke waarde van 2,9 graden in 2100; wordt uitsluitend het huidige beleid voortgezet, dan komt de stijging nog hoger uit, op 2,4-4,3 °C [4]. Dit betekent dat een temperatuurstijging zoals we die in de laatste eeuwen hebben gezien, nu kan plaatsvinden in slechts enkele decennia, oftewel binnen de levensduur van de infrastructuur die door de drinkwaterbedrijven wordt ontworpen en aangelegd. Het ligt voor de hand dat dit nieuwe extremen met zich meebrengt, hoewel het moeilijk is om de omvang hiervan te voorspellen.

Een andere relevante ontwikkeling, die tevens een bron van enige onzekerheid vormt, is die van de bevolkingsomvang. Bevolkingsgroei en -krimp als gevolg van geboorte en sterfte zijn binnen een redelijke bandbreedte te voorspellen. Migratie is echter, in ieder geval in grote delen van Europa en Noord-Amerika, de belangrijkste factor. Geopolitiek is hierin een onvoorspelbare factor, maar

klimaatverstoring speelt mogelijk een nog grotere rol. Dit laatste geldt zowel voor gebieden die bedreigd worden door zeespiegelstijging als ook, en wel nog op kortere termijn, voor gebieden die onleefbaar worden ten gevolge van extreme temperaturen en beperkte beschikbaarheid van water, en voor de gebieden die de klimaatvluchtelingen zullen opvangen.

Ten slotte is onze kennis van de waterinfrastructuur onvolledig en niet foutloos. We weten onvoldoende van de begraven infrastructuur voor transport en distributie, zeker wat betreft de oudere delen van het leidingnetwerk. Gebrekkige registratie in het verleden en beperkte kennis van de ontwikkeling van de infrastructuur (bodembewegingen, dichtgroeien van gietijzeren leidingen, beperkte registratie van afsluiterstanden, verborgen lekkages...) dragen hieraan bij. Dit leidt tot onzekerheden in voorspellingen over de infrastructuur.

Bij het ontwerp en de aanleg van nieuwe en aanpassing van bestaande infrastructuur moet rekening worden gehouden met onzekerheden in de vraag naar en beschikbaarheid van water. In de sector wordt al een hele tijd gewerkt met verschillende scenario's (bijv. voor bevolkingsomvang, economie en klimaat). Dit artikel benadrukt hoe belangrijk het, zeker in de (drink)watervoorziening, is om rekening te houden met onzekerheid en hoe dat gedaan kan worden. Deels worden de besproken methoden nu al toegepast. Centraal hierin staan de software en modellen die over de afgelopen decennia zijn ontwikkeld en nog steeds verder worden ontwikkeld, en die inmiddels worden gevat onder de noemer 'hydroinformatica'.

Soorten onzekerheid

Er kunnen drie soorten onzekerheid worden onderscheiden: onvoorspelbaarheid, structurele onzekerheid (met name in modellen) en waarde-onzekerheid (met name in data, zie tabel 1) [5]. In onze beschouwingen van drinkwatersystemen komen alle drie soorten onzekerheid voor.

Tabel 1. Samenvatting van de drie soorten onzekerheid volgens het IPCC [6]

Type	voorbeelden van bronnen	typische wijzen van omgang met onzekerheid
onvoorspelbaarheid	onvoorspelbare gedragsuitingen zoals de ontwikkeling van politieke systemen, chaotische processen in complexe systemen	gebruik van scenario's met een plausibel bereik onder duidelijke vermelding van dit bereik en van aannames, beperkingen en subjectieve oordelen; ensembles van modelsimulaties
structurele onzekerheid	niet-toereikende modellen, raamwerken of structuren, dubbelzinnige afbakeningen of definities, misrepresentatie of verwaarlozing van relevante processen of relaties	duidelijke specificatie van aannames en systeemdefinities, vergelijking van modellen met observaties voor een groot bereik van omstandigheden, beoordelen van rijpheid van de onderliggende wetenschap
parametrische (waarde-) onzekerheid	ontbrekende, onnauwkeurige of niet-representatieve data, verkeerde resolutie in tijd of ruimte, slecht bekende of variërende modelparameters	analyse van statistische eigenschappen van sets van waarden (waarnemingen, modelresultaten, etc.); hiërarchische statistische tests, vergelijking modellen met observaties

Hier bovenop wordt nog gesproken van diepe onzekerheid ('deep uncertainty') wanneer er geen consensus bestaat over de werking van een systeem, de waarschijnlijkheid van mogelijke toekomstige toestanden en het belang van de uitkomsten. Dit maakt het onmogelijk deze aspecten te rangschikken op belang of waarschijnlijkheid [6]. Deze term wordt vooral gebruikt bij beslissingsprocessen.

Vertaling naar het technisch ontwerp van toekomstige drinkwaterinfrastructuur

Er zijn minimaal drie manieren om met technische onzekerheid om te gaan. Om onze drinkwaterinfrastructuur voor te bereiden op de onzekere toekomst, zullen deze alle drie moeten worden toegepast.

De eerste benadering is het optimaliseren van de efficiëntie van het systeem, om de invloed van veranderingen die de benodigde capaciteit (vraag, aanbod, transport, opslag) beïnvloeden, te minimaliseren. Voorbeelden zijn het verkleinen van te voorkomen verliezen (zoals lekverlies) en het terugbrengen van de watervraag. Voor dit laatste valt te denken aan zowel gedrag als technologische ontwikkeling van waterverbruikende apparatuur [7]. Op dit vlak is reeds veel werk verricht en zijn veel hulpmiddelen beschikbaar. Toch zijn verbeteringen mogelijk, zeker gezien het feit dat in het buitenland lekverliespercentages van tientallen procenten nog veel voorkomen.

Ten tweede is het van belang om de veerkracht van onze watervoorziening (d.w.z. de mogelijkheid om flexibel in te springen op al dan niet tijdelijk veranderde omstandigheden) te vergroten [8]. Om alle relevante omstandigheden te kennen, is monitoring hiervan van groot belang. Een concreet voorbeeld

van de bedoelde veerkracht is om meer mogelijkheden te geven om te schakelen tussen verschillende brontypen [9] en brongebieden (geografisch). Naast de beschikbaarheid van deze bronnen vereist dit ook voldoende capaciteit voor behandeling, opslag en transport van het water op de juiste plek.

De derde benadering behelst het expliciet meenemen van onzekerheden in beschouwingen en voorspellingen. Deze benadering kan gecombineerd worden met de tweede. Door onzekerheid zoveel mogelijk te kwantificeren en deze in voorspellingen (of het nu van toekomstige watervraag of van de prestatie van het systeem is) uit te drukken, weten we in ieder geval wat de waarde van de voorspellingen is. Bovendien kan hiermee gezocht worden naar een ontwerp dat met een acceptabel gevonden kans voldoet aan de gestelde eisen. Kwalitatief worden onzekerheden enigszins meegewogen door te werken met verschillende scenario's. Het volledig doorrekenen van alle onzekerheden vergroot echter het inzicht in de werkelijke onzekerheden en zorgt ervoor dat een oplossing geschikt is voor toekomstige situaties en uitdagingen. Aangezien de bandbreedte van alle relevante parameters vaak niet bekend is, kan hierdoor echter ook een schijnzekerheid ontstaan.

Besluitvorming en betrekken van alle belanghebbenden

De technologische aspecten van problemen worden in de regel gemakkelijker opgelost dan de organisatorische en maatschappelijke aspecten. Technische oplossingen richten zich vaak op een enkel probleem, terwijl in de besluitvorming hierover rekening moet worden gehouden met vele belangen. Overeenstemming bereiken met stakeholders over technische beslissingen wordt eenvoudiger als voorspellingen van de consequenties van verschillende oplossingen beschikbaar en toegankelijk zijn.

Gereedschappen voor de drinkwatervoorziening

Hydroinformatica, opererend op het raakvlak van ICT en waterbeheer, biedt een hele kist met gereedschappen om met de verschillende aspecten van onzekerheid om te gaan. Tabel 2 geeft een overzicht van de typen gereedschappen die beschikbaar zijn voor de ondersteuning van strategische/beleidskeuzes en het ontwerp van deelsystemen van de drinkwatervoorziening. Ook is aangegeven welke typen onzekerheid typisch in deze gevallen optreden.

In de huidige praktijk worden onzekerheden vaak niet of beperkt meegenomen. Zo wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt van een beperkte set scenario's en van aannames over onzekerheden in invoerparameters. De volgende stap is om expliciet de doorrekening van onzekerheden (de zogeheten onzekerheidspropagatie) in alle modelberekeningen en optimalisaties in te bouwen.

Verklarende woordenlijst

Optioneering tools: software die de consequenties van scenariokeuzes doorrekent

Deterministisch: modelbenadering die ervanuit gaat dat invoerwaarden voor het model bekend, zijn en dat deze direct leiden tot een enkele modeluitkomst

Probabilistisch: modelbenadering die ervanuit gaat dat invoerwaarden onzekerheden bevatten, en deze meeneemt in de bepaling van het modelresultaat door ook hiervoor de onzekerheid te bepalen

Serious games: weergaven van systemen (technisch, sociaal) in de vorm van een spel waarbij het doel niet vermaak maar veelal het verkrijgen en/of communiceren van inzichten is.

Tabel 2. Typen gereedschap voor omgang met onzekerheid bij beschouwingen van of voorspellingen over de drinkwatervoorziening. De letters in de typekolom verwijzen naar onvoorspelbaarheid (o), structurele onzekerheid (s), waarde-onzekerheid (w) en diepe onzekerheid (d)

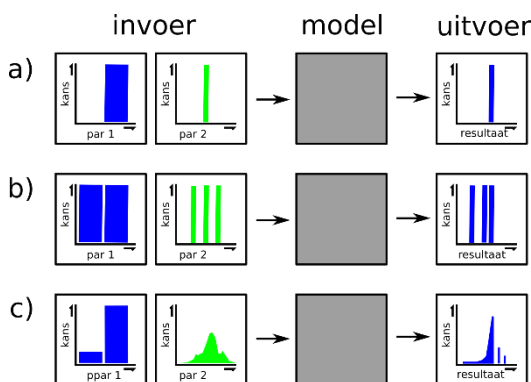
	Omschrijving	type
(piek)vraagvoorspelling	voorspelling van watervraag op langere termijn, op basis van a) verondersteld toekomstig gedrag en technologie of b) op basis van verbanden in recente watervraagvariaties	o s w
ontwerp- en optimalisatietools	ontwerp en dimensionering van infrastructuur, numerieke optimalisatie hiervan op basis van doelstellingen en randvoorwaarden	o w
scenariotools	hulpmiddelen voor het definiëren van relevante toekomstscenario's	o d
optioneering tools en serious games	hulpmiddelen voor het doorrekenen van de effecten van verschillende opties voor de opbouw van systemen en beleid m.b.t. deze systemen	o d

Concrete voorbeelden

Er zijn veel technische vragen met betrekking tot de benodigde dimensionering en capaciteit. Om die te beantwoorden moeten onzekerheden in de parameters, die het systeem bepalen, worden gebruikt in het ontwerp van het systeem. Dit betekent concreet bijvoorbeeld dat in een leidingnetmodel de diameter van een leiding niet als een specifieke gegeven waarde wordt beschouwd (namelijk de nominale diameter van de leiding), maar dat rekening wordt gehouden met de kans dat die afwijkt (de diameter is wellicht verkeerd geregistreerd; de diameter kan afgenomen zijn door aangroei/corrosieprocessen, etc.). Op deze manier wordt ook een beeld verkregen van de mogelijke variatie in het resulterende hydraulische gedrag en de transportcapaciteit.

Om de efficiëntie en veerkracht van het systeem te maximaliseren, is het noodzakelijk om het ontwerpproces door experts te laten ondersteunen met numerieke optimalisatietechnieken. Deze optimalisatiemethoden moeten op hun beurt in staat zijn om de onderkende onzekerheid mee te nemen in de berekeningen, zoals in de vorige alinea geïllustreerd. Dit betekent dat er geen optimaal ontwerp voor een set omstandigheden wordt bepaald, maar een robuust ontwerp. Dat ontwerp heeft een acceptabele kans om aan de gestelde eisen te voldoen en is optimaal (het meest efficiënt en/of veerkrachtig) gegeven de onzekerheid in de omstandigheden. Dit wordt in algemene zin geïllustreerd in Afbeelding 1, waarin drie situaties worden geschetst. In de eerste situatie wordt voor twee invoerparameters van een model, die enige onzekerheid kennen, de meest waarschijnlijke waarde ingevoerd, waarna het model een bijbehorende uitvoerwaarde berekent. In de tweede situatie worden voor de eerste invoerparameter twee mogelijke waarden toegepast en voor de tweede invoerparameter drie. Dit resulteert in een aantal mogelijke modeluitkomsten, zonder dat de kans hierop wordt gekwantificeerd. In het derde geval wordt voor de invoerparameters een kansverdeling ingevoerd (waarin dus de onzekerheid over de parameters is opgenomen). De uitvoer van het model is hierbij eveneens een kansverdeling voor de berekende waarde. Om het concreet te maken zouden

we kunnen veronderstellen dat de eerste invoerparameter de stand van een afsluiter in een netwerk is. Deze kan open of dicht zijn. Hij behoort een bepaalde stand te hebben, maar in de praktijk staan afsluiters soms toch anders. De tweede invoerparameter zou de druk bij het pompstation het distributienet in kunnen zijn; de derde de druk in de periferie van het netwerk. Als het waterbedrijf in de periferie een bepaalde druk wil leveren, dan wordt in het eerste geval voorspeld dat aan deze eis wordt voldaan, maar dit is mogelijk fout. In het tweede geval wordt onderkend dat er situaties bestaan waarin niet aan de eis wordt voldaan. In het derde geval weet het waterbedrijf hoe groot de kans is dat er niet aan de eis wordt voldaan.



Afbeelding 1. Weergave en berekening van (schijn)zekerheden in een willekeurig model. a) Deterministisch (gangbaar); b) scenario's (soms toegepast bij de beschouwing van drinkwatersystemen); c) probabilistisch (gewenste situatie)

Zogeheten optioneering tools, software die het mogelijk maakt om de consequenties van diverse ontwerpkeuzes door te rekenen, kunnen helpen om de consequenties van verschillende keuzes inzichtelijk te maken. Wanneer deze als serious games worden vormgegeven, kunnen zij een belangrijke rol spelen bij het betrekken van stakeholders in het nadenken en discussiëren over mogelijke toekomstige technische en beleidsmatige maatregelen. Een mooi voorbeeld hiervan wordt ontwikkeld in het kader van het SIM4NEXUS-project [10].

Het gebruik van de gereedschappen

Het is verleidelijk te denken dat met het realiseren van een robuust ontwerp de bestaande onzekerheden in voldoende mate ondervangen zijn. Niet alle onzekerheid in bijvoorbeeld de manier waarop de omgeving zich ontwikkelt, is hiermee echter te vangen. Dit betekent dat in aanvulling op robuustheid ook de aanpasbaarheid aan nieuwe omstandigheden een belangrijke factor in het ontwerp is [11]. En dit betekent bovendien dat ontwerpen zo nu en dan tegen het licht gehouden moeten worden en waar nodig aangepast.

Reduceren van onzekerheid

Structurele onzekerheid (op diverse wijzen niet-toereikende modellen, raamwerken of structuren) kan in principe langzaam kleiner worden door modellen continu te verbeteren. Dit kan op basis van inzichten die opgedaan zijn bij de praktische toepassing van modellen. Maar het is met name de waarde-onzekerheid die veel ruimte voor verbetering laat. De kennis van onze systemen en processen neemt snel toe met de introductie van sensoren en inspectietechnieken, die ons meer informatie verschaffen over de processen, maar ook over de infrastructuur zelf. En het lijkt erop dat we nog maar

aan het begin van deze ontwikkeling staan. Daarbij komt dat steeds meer omgevingsdata vrij beschikbaar komen.

Zijn we klaar voor de toekomst met hydroinformatica?

Technisch gezien is het nodig dat onzekerheden standaard onderdeel worden van de modellen waarmee wordt gerekend aan systemen en aspecten van de drinkwatervoorziening. Hierbij gaat het om modellen die een deelsysteem representeren (zuivering, distributienet), maar ook om bijvoorbeeld numerieke optimalisaties die gebruik maken van deze modellen. In academische kringen is hier reeds werk aan gedaan, maar dit is nog niet doorgesijpeld tot operationeel toegepaste software. Deze operationeel toepasbare software moet dus worden ontwikkeld. Ook wat betreft methodieken voor de omgang met onzekerheid en hoe beslissingen te nemen onder (diepe) onzekerheid is in de academische wereld en in andere toepassingsvelden reeds veel werk gedaan, dat kan worden gebruikt bij beslissingen over het drinkwatersysteem.

De technische aspecten vormen echter slechts één kant van het verhaal. Het communiceren over en afstemmen van de resultaten, en vervolgens het nemen van beslissingen op basis hiervan, is nog een verhaal apart. Alle stakeholders moeten betrokken kunnen worden en kunnen begrijpen wat de essentie is van de consequenties van verschillende alternatieven voor hun eigen belangengebied en dat van de andere stakeholders. Hierbij kan de (door)ontwikkeling van serious games uitkomst bieden.

Referenties

1. Vewin (2017). *Drinkwaterstatistieken 2017*
2. <https://www.carbonbrief.org/mapped-how-climate-change-affects-extreme-weather-around-the-world>, geraadpleegd op 9 december 2019
3. IPCC (2018). *Special report: Global Warming of 1.5°C*.
4. <https://climateactiontracker.org/>, geraadpleegd op 2 oktober 2019.
5. IPCC (2007). *Uncertainty Guidance Note for the Fourth Assessment Report*
6. <http://www.deepuncertainty.org/2017/10/15/managing-deep-uncertainty-exploratory-modeling-adaptive-plans-and-joint-sense-making/>, geraadpleegd op 9 december 2019
- [7] Blokker, M., Agudelo-Vera, C., Moerman, M., Thienen, P. van en Pieterse-Quirijns, I. (2017) 'Review of applications for SIMDEUM, a stochastic drinking water demand model with a small temporal and spatial scale'. *Drink. Water Eng. Sci.*, 10, 1–12.
8. Nikolopoulos et al. (2019) 'Tackling the "New Normal": A Resilience Assessment Method applied to real-world'. *Urban Water Systems*, 11
9. Stofberg, S., Hofman-Caris, R., Pronk, G. H.-J. van Alphen, H-J van, Putters, B. (2019) 'Toekomstverkenning: alternatieve bronnen voor drinkwater in Nederland'. *H2O-Online*, 29 augustus 2019.
10. <https://www.sim4nexus.eu>, geraadpleegd op 9 december 2019
11. Kwakkel, J. H., Haasnoot, M., & Walker, W. E. (2016). 'Comparing Robust Decision-Making and Dynamic Adaptive Policy Pathways for model-based decision support under deep uncertainty'. *Environmental Modelling & Software*, 86, 168-183. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.09.017>