



Bedrijfstakonderzoek
BTO 2021.021 | Mei 2021

**Water-
beschikbaarheids-
analyse
WPC Kluizen**

KU LEUVEN

Rapport

Waterbeschikbaarheidsanalyse WPC Kluizen

BTO 2021.021 | Mei 2021

Dit onderzoek is onderdeel van het collectieve Bedrijfstakonderzoek van KWR, de waterbedrijven en Vewin. Het verloopt in samenwerking met de Vlaamse drinkwatermaatschappij De Watergroep.

Opdrachtnummer

402045/068

Projectmanager

Dr. Gerard van den Berg (KWR)

Opdrachtgever

BTO - VNWKO

Auteurs

ir. Daan Bertels (KU Leuven)
ir. Joke De Meester (KU Leuven)
Dr. ir. Jan De Niel (KU Leuven)
Dr. ir. Vincent Wolfs (KU Leuven)
Prof. dr. ir. Patrick Willems (coördinatie studie, KU Leuven)

Kwaliteitsborgers

Dr. ir. Ingrid Keupers (De Watergroep)
Dr. ir. Ruud Bartholomeus (KWR)

Verzonden naar

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar.

Keywords

Waterbeschikbaarheid, hydrologische waterbalansmodellering, impact klimaatverandering

The logo of KU Leuven, consisting of the text "KU LEUVEN" in white capital letters on a dark blue rectangular background.

Jaar van publicatie
2021

Meer informatie

Prof. Patrick Willems, KU Leuven
T +32-16-321658
E patrick.willems@kuleuven.be

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

The logo of KWR, with the letters "KWR" in a stylized, bold, blue font.

Januari 2021 ©

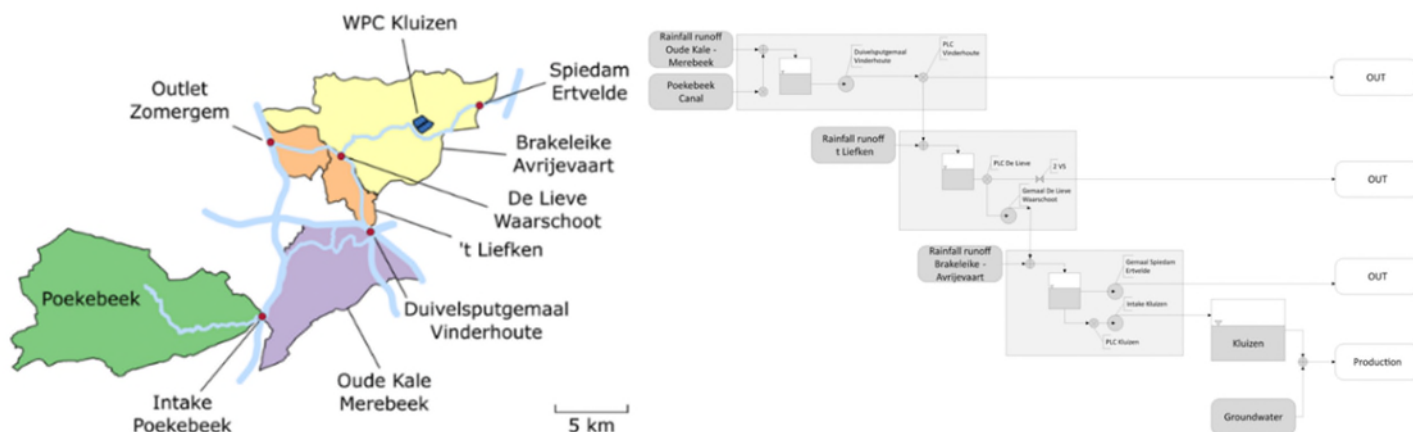
Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen,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

Managementsamenvatting

Nieuw hydrologisch-hydraulisch waterbalansmodel geeft inzicht in waterbeschikbaarheid voor WPC Kluizen en mogelijkheden voor aanvulling

Auteurs ir. Daan Bertels, ir. Joke De Meester, dr. ir. Jan De Niel, dr. ir. Vincent Wolfs, prof. dr. ir. Patrick Willems

Scenarioanalyses met een daarvoor ontwikkeld conceptueel hydrologisch-hydraulisch waterbalansmodel zijn ingezet om zowel de huidige als de toekomstige waterbeschikbaarheid te bestuderen voor WPC De Kluizen van de Vlaamse drinkwatermaatschappij De Watergroep. De Watergroep levert via dit waterproductiecentrum drinkwater aan een groot deel van het noorden van de provincie Oost-Vlaanderen en maakt zich zorgen over dalende waterbeschikbaarheid door bijvoorbeeld klimaatverandering. De scenarioanalyses lieten zien dat door de effecten van klimaatverandering de betrouwbaarheid in het slechtste geval zou dalen van 79% naar ong. 60% bij gebruik van uitsluitend oppervlaktewater. Onder de huidige omstandigheden kan een constant aanvullend gebruik van 10.000 m³ grondwater de betrouwbaarheid verhogen met 5.4%. Bij het gebruik van een externe variabele bron, zoals oppervlaktewater van de Poekebeek, zorgt een innamefractie van 25% uit de Poekebeek voor een stijging in betrouwbaarheid, onder de huidige omstandigheden van 1.7%.



Links - Afstroomgebied voor WPC Kluizen. Rechts - conceptuele structuur waterbalans.

Belang: zorgen over waterbeschikbaarheid voor drinkwaterproductie WPC Kluizen

De Vlaamse drinkwatermaatschappij De Watergroep heeft in Kluizen (Evergem) in het Vlaamse Meetjesland twee spaarbekkens met een totale capaciteit van 10,9 miljoen m³ water en een gemiddelde productie van 40.000 m³/dag. Het oppervlaktewater is afkomstig van een waterwin- gebied van 25.000 ha stroomgebieden van onbevaarbare waterlopen en watering (zie figuur). Het spaarbekken heeft een leveringszekerheid van ongeveer 230 dagen bij een normale productie. De Watergroep levert via het waterproductiecentrum (WPC) Kluizen drinkwater aan een groot deel van het

noorden van de provincie Oost-Vlaanderen. Onder andere door klimaatverandering verandert de oppervlaktewaterbeschikbaarheid in de zomer, zowel door de dalende waterkwantiteit als de verminderde waterkwaliteit. De drinkwater- maatschappij wil weten of de drinkwatervoorziening onder druk komt te staan door problemen met de waterkwantiteit en/of waterkwaliteit.

Aanpak: scenario-analyse met een conceptueel hydrologisch-hydraulisch waterbalansmodel

Het watersysteem in het gebied is zeer complex en kent een sterke hydraulische sturing. Bovendien zijn er relatief weinig gegevens als debietmetingen

beschikbaar over het gebied, in vergelijking met andere gebieden in Vlaanderen.

Om de waterkwantiteit te berekenen in de verschillende deelstroomgebieden, waterlopen en reservoirs is een conceptueel waterbalansmodel opgebouwd dat bestaat uit hydrologische en hydraulische componenten. De verschillende hydraulische structuren die de waterhuishouding in het gebied sturen, worden daarbij expliciet gemodelleerd. Voor elk van de pompgemalen zijn de pompefficiëntie en de kritische hoogtes ingeschat en de *programmable logic controller* (PLC) regelingen gevalideerd. Het innamedebiet aan het WPC Kluizen wordt in realiteit manueel bepaald door een operator en hangt af van factoren als waterkwaliteit, peilen in de spaarbekkens en tijd van het jaar. Er is een transparante set regels opgesteld die de pompwerking van WPC Kluizen reguleert bij simulaties van toekomstige scenario's. De opgelegde regels houden rekening met de gangbare praktijk met prioriteiten en randvoorwaarden, het volume van de spaarbekkens en meteorologische gegevens. Daarnaast is een conceptueel en data-gedreven model opgesteld om de waterkwaliteit weer te geven van het captatiegebied.

De verkregen modellen zijn toegepast om verschillende toekomstscenario's en beheerstrategieën door te rekenen.

Resultaten: waterbeschikbaarheid daalt door verhoogde productie en klimaatverandering

Onder het huidige klimaat en bij een gemiddelde dagelijkse productie van 36.700 m³ is vanuit oppervlaktewater voldoende ruwwater beschikbaar in 98% van de tijd.

Wanneer in de toekomst de gemiddelde dagelijkse productie zou verhogen tot 70.000 m³, daalt het percentage van de tijd met voldoende ruwwaterbeschikbaarheid vanuit het oppervlaktewater tot 79%.

Onder toekomstige klimaatscenario's daalt deze waterbeschikbaarheid van 79% tot ongeveer 60% voor de toekomsthorizon 2071-2100.

Wanneer de productie wordt aangevuld met grondwateronttrekking, stijgt de waterbeschikbaarheid aanzienlijk: van 94.4% naar 99.8 % bij een inname van 10.000 m³ grondwater. De drinkwaterproductie wordt dan minder afhankelijk van de oppervlaktewaterbeschikbaarheid, die veel tijdsvariabeler is dan de grondwaterbeschikbaarheid. De tijdsvariabiliteit van de oppervlaktewaterbeschikbaarheid zal in de toekomst verder toenemen.

Naast de aanvulling door grondwater werden enkele beheerstrategieën onderzocht waarbij het oppervlaktewatersysteem op een aangepaste wijze wordt beheerd en gestuurd. Opties hier zijn het permanent openen van de sifon tussen de waterlopen Poekebeek en de Oude Kale. De resultaten geven aan dat de extra inname van oppervlaktewater uit de Poekebeek helpt om bij een drogere winterperiode de spaarbekkens toch volledig te vullen. Wel moet er een behoorlijk grote fractie overgedragen worden om de systeembetrouwbaarheid significant te vergroten, bv. een innamefractie van 75% uit de Poekebeek zorgt voor een stijging in waterbeschikbaarheid van 94.4% naar 98.2 %.

Toepassing: modellen bieden inzicht in effect waterkwaliteit op waterbeschikbaarheid

De voorlopige waterkwaliteitsmodellen blijken de observaties correct te benaderen en kunnen dus worden gebruikt om meer inzicht te krijgen in het effect van waterkwaliteit op waterbeschikbaarheid.

In vervolgonderzoek wordt de waterkwaliteit verder bestudeerd. Ook zal de invloed van de rioleringsstelsels via de overstorten worden bestudeerd.

Rapport

Meer informatie is beschikbaar in het uitgebreid rapport: Bertels, D., De Meester, J., De Niel, J., Wolfs, V., Willems, P. (2021). *Waterbeschikbaarheidsanalyse WPC Kluizen, Tussentijds onderzoeksrapport van KU Leuven – Afdeling Hydraulica en Geotechniek, voor KWR en De Watergroep, november 2020, 160 p.* en in het PhD manuscript van Dr. Jan De Niel: De Niel, J., Willems, P. (2018), 'Variability of river flow extremes in Flanders: impact of atmospheric and catchment drivers', PhD dissertation, KU Leuven – Faculty of Engineering, Leuven

Meer informatie

Prof. Patrick Willems, KU Leuven
T +32-16-321658
E patrick.willems@kuleuven.be

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands



Inhoud

Rapport	2
<i>Managementsamenvatting</i>	3
Inhoud5	
1 Problematiek en doel van de studie	6
2 Waterbalans captatiegebied	7
2.1 Beschrijving captatiegebied Kluizen en beschikbare info	7
2.2 Waterbalansmodel	7
3 Scenario-analyses	9
3.1 Huidig klimaat	9
3.2 Toekomstig klimaat	9
3.3 Extra inname	10
3.3.1 Impact grondwaterproductie	10
3.3.2 Impact inname Poekebeek	10
3.3.3 Impact extra inname van een constant volume per dag	11
3.4 Impact renovatie spaarbekken 1	12
4 Modelleren waterkwaliteit	14
4.1 Bronnen verontreiniging	14
4.2 Modellen waterkwaliteit	14
4.2.1 Conceptueel waterkwaliteitsmodel	15
4.2.2 Data-gedreven waterkwaliteitsmodel	15
5 Conclusie	17
6 Verder onderzoek	18
7 Referenties	19
Bijlage	
I Resultaten modellering waterkwaliteit	20

1 Problematiek en doel van de studie

De waterbeschikbaarheid in Vlaanderen is zeer laag, ondanks het vrij gunstige klimaat en de vele rivieren die ons land doorkruisen. Vlaanderen staat op de 4^{de} laatste plaats van alle OESO-landen met betrekking tot waterbeschikbaarheid per inwoner (MIRA, 2013). Oorzaken hiervan zijn o.a. de hoge populatiedichtheid, het grote percentage aan ondoordringbare gronden, en het in de laatste decennia gevoerde beleid dat hoofdzakelijk gericht was op afvoer van water om wateroverlast te vermijden en om landbouwproductie te verhogen. Daarnaast is er de klimaatproblematiek. Er wordt verwacht dat de neerslag in de winter zal toenemen, terwijl deze in de zomer (sterk) zal dalen. Door de stijgende temperaturen zal de evaporatie zowel in de zomer als in de winter toenemen. Alsook worden er meer intensieve buien (met meer oppervlakteafvoer) en langere periodes van droogte verwacht (voor uitgebreide cijfers en projecties zie het MIRA Klimaatrapport 2015, Brouwers et al., 2015). Toekomstprojecties geven dan ook aan dat de droogtestress sterk zal toenemen. Vlaanderen ondervindt in de laatste jaren, inderdaad meer en meer problemen door droogte. De afgelopen zomers was het telkens nodig specifieke maatregelen te nemen (o.a. een captatieverbod) om de effecten van droogte zoveel mogelijk te beperken. Door de combinatie van de effecten van klimaatverandering en andere factoren zoals toenemende verstedelijking en de hoge populatiedichtheid, is de aandacht voor waterbeschikbaarheid gestegen, ook bij de politici. Dit heeft geleid tot het ontstaan van de Blue Deal. De Blue Deal is een engagement dat meer dan 70 acties bundelt met als doel de weerbaarheid van Vlaanderen tegen droogte te verhogen. Deze acties omvatten onder meer, het versterken van de natte natuur en bufferbekkens alsook een focus op circulair watergebruik.

Naar aanleiding van boven gestelde problematiek onderzoekt deze studie de oppervlaktewaterbeschikbaarheid voor het waterproductiecentrum (WPC) Kluizen. Vanuit dit WPC levert De Watergroep drinkwater aan een groot deel van het noorden van de provincie Oost-Vlaanderen in Vlaanderen. De studie gaat na of de drinkwatervoorziening onder druk komt te staan door problemen met de waterkwantiteit als gevolg van o.a. de klimaatverandering.

Om de waterbeschikbaarheid van het WPC Kluizen te onderzoeken werd er een waterbalansmodel opgesteld die de huidige waterkwantiteit kan weergeven, inclusief het effect van veranderende randcondities zoals extra inname en een veranderend klimaat. Maar ook de waterkwaliteit heeft een belangrijke impact op de waterbeschikbaarheid. Daarom wordt ook een model gecreëerd dat de waterkwaliteit in het captatiegebied goed kan benaderen. Naar de eindfase toe kunnen beide modellen gecombineerd worden om een totaalbeeld te vormen van de waterbeschikbaarheid van het WPC Kluizen en dit onder verschillende randcondities.

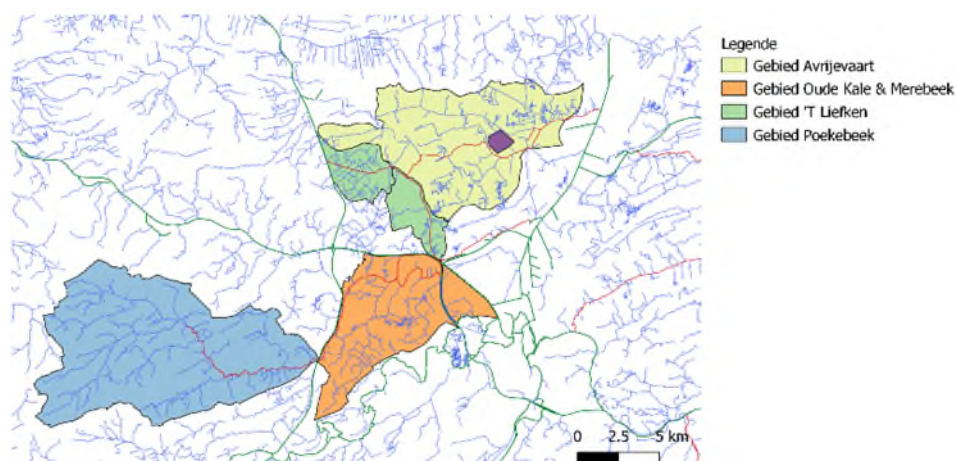
In de volgende tekst wordt eerst de gebruikte waterbalans toegelicht. Hierna worden de resultaten van de verschillende scenario-analyses besproken. Naast resultaten voor de huidige situatie wordt de waterbeschikbaarheid onder toekomstige klimaatscenario's besproken. Ook wordt ingegaan op de gevolgen van een extra inname en de renovatie van spaarbekken 1. Daarna wordt de modellering van de waterkwaliteit toegelicht. Dit rapport eindigt met conclusie en aanbevelingen voor verder onderzoek.

2 Waterbalans captatiegebied

2.1 Beschrijving captatiegebied Kluizen en beschikbare info

Het captatiegebied van het WPC Kluizen is bijzonder complex. In de loop der eeuwen zijn de waterlopen in het captatiegebied sterk aangepast door menselijke activiteiten (rivieren werden verlegd, ingedijkt, verruimd, ...). Daarnaast werden de waterlopen uitgerust met verschillende kunstwerken om de waterstroming te optimaliseren. Deze kunstwerken hebben als voornaamste doelstellingen het vermijden van wateroverlast en het verzekeren van voldoende toestroom naar het WPC Kluizen. Het systeem is daarnaast ook vrij vlak waardoor natuurlijke afstroming traag gebeurt en pompen de stromingsrichting in het oppervlaktewatersysteem kunnen veranderen.

In totaal kunnen er vier deelstroomgebieden onderscheiden worden in het captatiegebied van het WPC Kluizen: het stroomgebied van de Poekebeek, stroomgebied Oude Kale & Merebeek, stroomgebied 'T Liefken en stroomgebied Brakeleike tot Avrijevaart (Figuur 1).



Figuur 1: Overzicht captatiegebied WPC Kluizen (paarse veelhoek) alsook de onderverdeling in de vier deelgebieden

Het gebied van de Poekebeek mondt hoofdzakelijk uit in het Afleidingskanaal van de Leie (AFL). Via een sifon kan er ook water doorgelaten worden naar de Oude Kale. Het gebied Oude Kale & Merebeek ontvangt water van de Poekebeek en mondt uit in het pompghemaal ter hoogte van Vinderhout. Dit pompghemaal verdeelt het water over de Nieuwe Kale (standaard), het Kanaal Gent-Oostende (hoogwater) en de Lieve (op vraag WPC Kluizen). In het gebied 'T Liefken stroomt het water richting het AFL en naar het klein Brakeleiken. Door het gebied Avrijevaart lopen verschillende rivieren die afwateren in verschillende richtingen; naar Eeklo's Leiken, m.b.v. pompen naar WPC Kluizen en via een pompghemaal (Spiedam) naar Kanaal Gent Terneuzen (KGT).

Naast de hoge complexiteit en sterke sturing van het watersysteem, zijn er – in vergelijking met andere gebieden in Vlaanderen – relatief weinig gegevens, zoals debietmetingen, beschikbaar in het gebied.

2.2 Waterbalansmodel

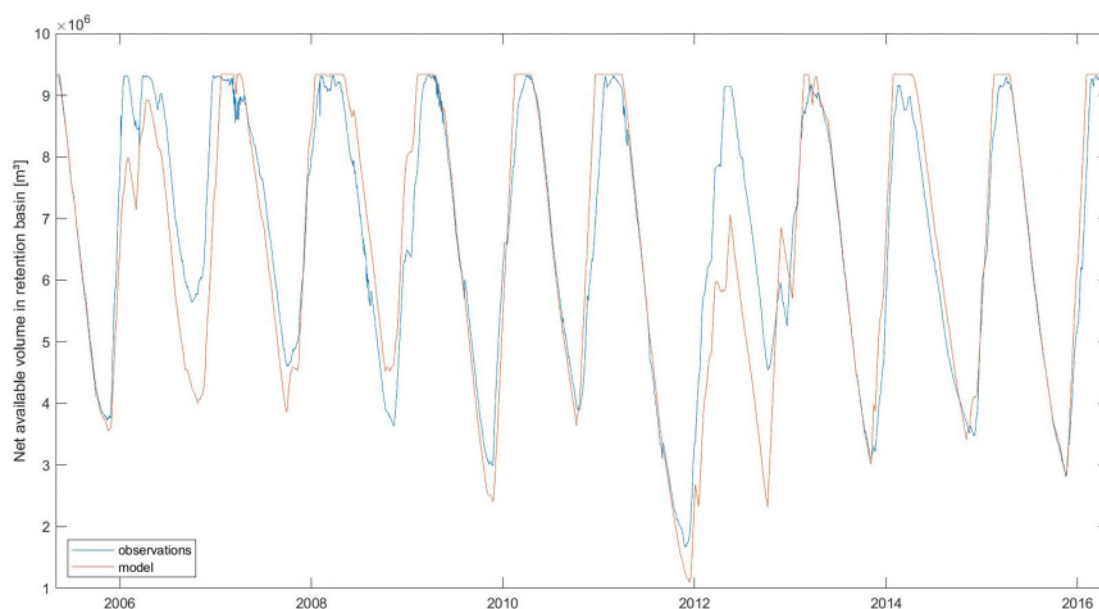
Om de huidige waterbeschikbaarheid van het WPC Kluizen modelmatig te begroten werd een conceptueel hydrologisch-hydraulisch waterbalansmodel opgesteld. Dergelijk conceptueel model modelleert expliciet de verschillende hydraulische structuren die de waterhuishouding in het gebied sturen.

Eerst werd voor elk van de deelstroomgebieden een hydrologisch model opgebouwd. Door het gebrek aan data is er gekozen voor het GR4J model (Perrin et al. 2003) dewelke maar 4 parameters bevat. Op deze manier wordt overparameterisatie zoveel mogelijk vermeden. Daarnaast zijn voor elk van de pompgemalen de pompefficiëntie en de kritische hoogtes ingeschat en zijn de *programmable logic controller* (PLC) regelingen gevalideerd. Het innamedebiet aan het WPC Kluizen wordt in realiteit manueel bepaald door een operator en hangt af van verschillende factoren waaronder de waterkwaliteit, peilen in de spaarbekkens, tijd van het jaar, enz. Er werd een transparante set aan regels opgesteld die de pompwerking van het WPC Kluizen reguleert bij simulaties van toekomstige scenario's. Hierbij krijgt het vullen van het WPC Kluizen voorrang op het gemaal van Spiedam. De opgelegde regels houden rekening met deze voorrang, het volume van de spaarbekkens en met de meteorologische gegevens. Als er ingepompt wordt, dan wordt er een constant inname debiet opgelegd.

Daarna werden de verschillende delen samengebracht tot een conceptueel hydrologisch-hydraulisch model van het volledige captatiegebied van WPC Kluizen. Voorlopig werd het stroomgebied van de Poekebeek nog niet meegenomen aangezien, over de periode van 2014-2018, de schuif richting de Oude Kale niet meer geopend was.

Het conceptueel hydrologisch-hydraulisch waterbalansmodel werd in MATLAB geprogrammeerd en heeft een vaste tijdstap van 100 seconden. Voor het uiteindelijke waterbalansmodel van het volledige stroomgebied worden de resultaten van het hydrologisch model uniform verdeeld gedurende de dag. De dagelijkse tijdstap wordt verkozen boven de uurlijkse tijdstap om extra onzekerheden (en parameters) bij de hydrologische modellering tegen te gaan. Het nadeel hiervan is dat korte pieken ($< 24u$) niet gesimuleerd kunnen worden, maar dat is minder belangrijk voor het doel van deze studie.

Validatie van de resulterende netto beschikbare volumes in de spaarbekkens wordt getoond in Figuur 2. Op basis van de vergelijking tussen modelresultaten en observaties in Figuur 2 werd besloten dat het model aanvaardbare resultaten levert en dus bruikbaar is voor verdere scenarioanalyses.



Figuur 2: Validatie van het waterbalansmodel op basis van het beschikbaar volume in de spaarbekkens

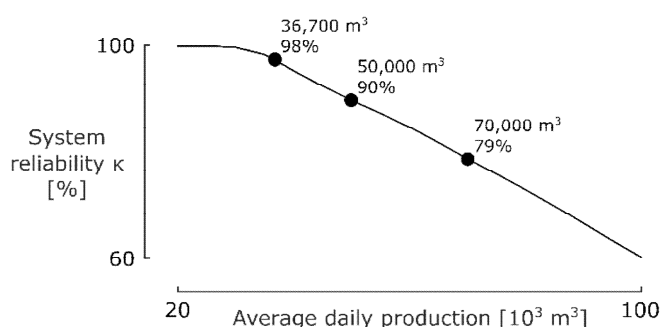
3 Scenario-analyses

Met het model werden verschillende langetermijnsimulaties uitgevoerd om de eigenlijke waterbeschikbaarheid nauwkeurig te kunnen analyseren. Verschillende scenario's werden geanalyseerd, zowel klimaatscenario's als het gevolg van extra innamepunten. Hierbij is telkens de waterbeschikbaarheid geëvalueerd aan de hand van een systeembetrouwbaarheid κ , met V_{SR} het totaal volume aan drinkwater dat geproduceerd kan worden uit beschikbaar oppervlaktewater, en V_{TOT} de totale vraag aan drinkwater over een bepaalde periode:

$$\kappa = \frac{V_{SR}}{V_{TOT}},$$

3.1 Huidig klimaat

Voor de analyse van de waterbeschikbaarheid voor het huidig klimaat wordt de meteorologische data van Ukkel voor de periode 1961 – 1990 doorgerekend, inclusief de droge zomer van 1976. De neerslagstatistieken van Ukkel worden gelijk verondersteld aan de lokale condities. De waterbeschikbaarheid wordt samengevat in Figuur 3. Deze figuur geeft de betrouwbaarheid (d.i. voldoende ruwwater beschikbaar voor de nodige leidingwaterproductie) weer van de waterproductie wanneer enkel oppervlaktewater zou gebruikt worden. De betrouwbaarheid bij een gemiddelde dagelijkse productie van 36 700 m³ volledig uit oppervlaktewater is 98%.



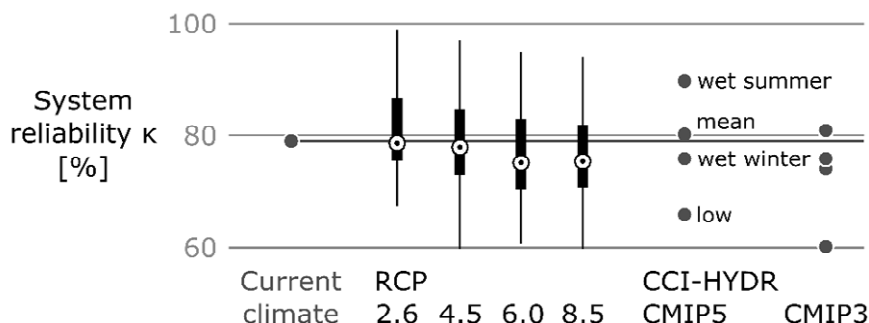
Figuur 3: Systeembetrouwbaarheid κ en waterbeschikbaarheid (m³ en %) onder het huidig klimaat, bij verschillende productiehoeveelheden

3.2 Toekomstig klimaat

Voor het toekomstig klimaat werd een *multi-model ensemble* gebruikt van geprojecteerde reeksen. Hierbij werden de onzekerheden rond de toekomstige uitstoot aan broeikasgassen, het globale klimaat en het lokale klimaat in rekening gebracht. Dit gebeurt via respectievelijk vier *Representative Concentration Pathways* (RCP's), mondiale klimaatmodellen (GCM's) en negen verschillende statistische neerschalingmethoden. Daarnaast werd ook de methode van het CCI-HYDR project toegepast (Baguis et al. 2010, Ntegeka et al. 2014). Hier werden 4 klimaatscenario's specifiek voor België ontwikkeld die de volledige range aan klimaatveranderingonzekerheid beschrijft: *wet summer*, *wet winter*, *medium* en *dry*. Initieel werden deze scenario's ontwikkeld op basis van 50 klimaatmodelruns voor België van de (oude) CMIP3-generatie; hier werd deze methode ook toegepast, vertrekkende van de (nieuwe) CMIP5-klimaatmodellen.

De waterbeschikbaarheid voor het toekomstig klimaat (2071 – 2100) wordt samengevat in Figuur 4. Deze resultaten veronderstellen een productie, afkomstig van oppervlaktewater, van 70 000 m³/dag. Zowel resultaten van het *multi-model ensemble* worden weergegeven, als de resultaten van de verschillende klimaatscenario's van

het CCI-HYDR project. Alle resultaten geven aan dat de betrouwbaarheid zal zakken, in het slechtste geval van 79% naar ong. 60% (57% in het geval van het RCP 8.5 scenario voor toekomsthorizon 2071-2100, d.i. het scenario met de grootste concentratie aan broeikasgassen).



Figuur 4: Waterbeschikbaarheid voor het toekomstig klimaat (2071 – 2100), bij een productie van 70 000 m³/dag

3.3 Extra inname

De impact van extra grondwaterinname, het permanent openen van de sifon tussen de Poekebeek en de Oude Kale en een (continue en ongelimiteerde) oppervlaktewaterinname werden bekeken.

3.3.1 Impact grondwaterproductie

De impact van grondwaterproductie werd ingerekend door een verminderde productie uit oppervlaktewater te beschouwen. Figuur 3 gaf aan dat de inname van grondwater een belangrijke impact heeft op de betrouwbaarheid van het systeem. Er werden vier verschillende scenario's doorgerekend waarbij het dagelijks opgepompt volume grondwater varieert (0, 3 600, 6 300 en 10 000 m³/dag). Uit deze analyse, waarvan de resultaten weergegeven worden in Tabel 1, kan er besloten worden dat een stijging in grondwaterproductie niet enkel een gunstige impact heeft op de systeembetrouwbaarheid; ook de onzekerheid zal dalen omdat het systeem proportioneel meer kan rekenen op de constante grondwaterproductie i.p.v. de veranderlijke oppervlaktewaterbeschikbaarheid. Daarnaast zal de frequentie waarmee watertekorten zich voordoen, aanzienlijk dalen bij een stijging van de grondwaterproductie. De duur van het falen is minder afhankelijk van de grondwaterproductie.

Tabel 1: Systeemprestaties voor verschillende productiedebieten van grondwater

Grondwatervolume [10³ m³/dag]	Systeembetrouwbaarheid [%]	Gemiddelde duur faalperiode [dagen]	Aantal faalperiodes (in 30 j.)	Gemiddelde periode zonder falen [dagen]
0	94.4	28	23	430
3.6	96.8	36	10	964
6.3	98.4	37	5	1795
10	99.8	11	2	3645

3.3.2 Impact inname Poekebeek

Het afstromend volume verlaat het stroomgebied van de Poekebeek via drie wegen: een deel kan over een geregelde schuif naar een sifon onder het AFL stromen richting de Oude Kale. Een andere fractie stroomt over een automatische stuw naar het AFL, en een derde fractie zal langs een vistrap stromen, eveneens naar het AFL. Het ontbreken van registraties verhinderen dat dit gebied correct kan worden ingerekend. Om toch een preliminaire inschatting te kunnen maken van de baten van het innemen van water uit de Poekebeek, werd er aan de hand van de historische debietmeetreeks een GR4J-neerslagafstromingsmodel gekalibreerd. Vervolgens wordt een bepaalde fractie van dit afstromend debiet toegevoegd aan het instromend debiet van de Oude Kale en de impact op de

waterbeschikbaarheid geanalyseerd. In tegenstelling met de vorige analyse varieert dit bijkomend debiet dus in de tijd. In de praktijk zal deze maximale fractie beperkt zijn, o.a. omdat er steeds een debiet over de vistrap zal stromen. Zonder bijkomende gegevens kan deze momenteel echter niet nauwkeurig ingeschat worden.

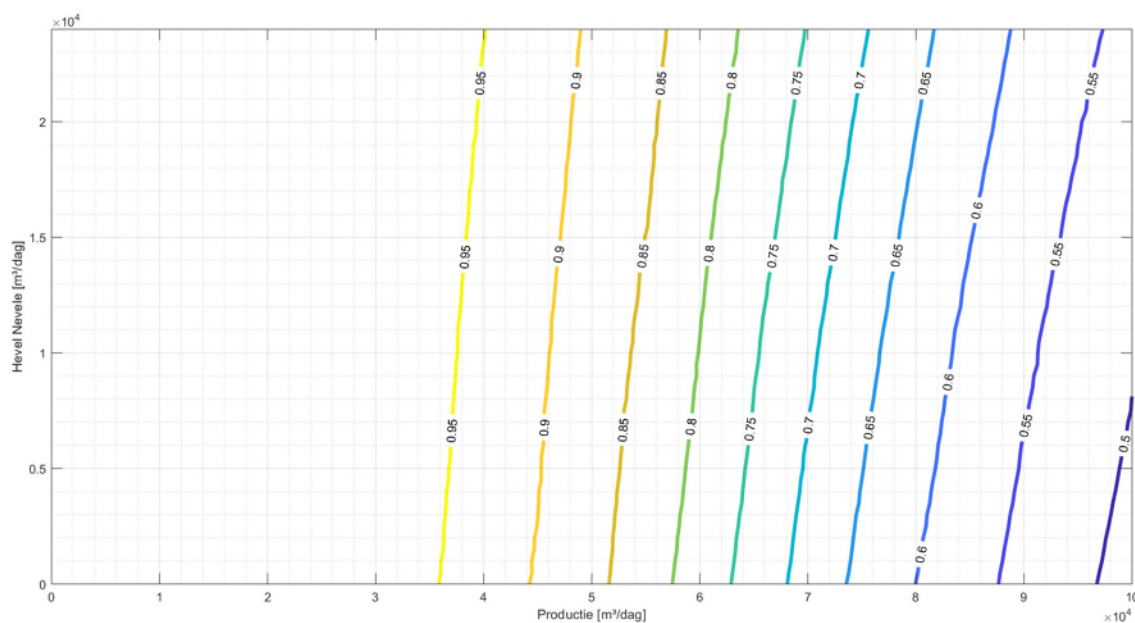
Deze analyse (zie resultaten in Tabel 1) geeft aan dat het innemen van oppervlaktewater uit de Poekebeek wel degelijk een merkbare impact zal hebben. Deze extra inname helpt om in een drogere winterperiode toch tot een gevuld reservoir te komen. Uit de analyse blijkt echter ook dat er een behoorlijke grote fractie van het debiet in de Poekebeek zal moeten worden overgedragen om de systeembetrouwbaarheid significant te vergroten.

Tabel 1: Systeemprestaties voor verschillende innamefracties van het debiet van de Poekebeek

Innamefractie debiet Poekebeek [%]	Systeembetrouwbaarheid [%]	Gemiddelde duur faalperiode [dagen]	Aantal faalperiodes (in 30 j)	Gemiddelde periode zonder falen [dagen]
0	94.4	28	23	430
25	96.1	34	13	752
50	97.4	30	10	969
75	98.2	28	7	1345
100	98.7	29	5	1801

3.3.3 Impact extra inname van een constant volume per dag

In Figuur 5 wordt geïllustreerd wat de impact is van het bijkomend innemen van een extra constant debiet (bv. van grondwater, de Poekebeek, het Afleidingskanaal van de Leie, ...), zonder te specificeren waar dit vandaan zou komen. Deze figuur geeft de systeembetrouwbaarheid κ weer, waarbij naast de productie (constant onttrokken debiet aan het spaarbekken, horizontale as) ook een extra innamedebiet (verticale as) wordt gevarieerd.

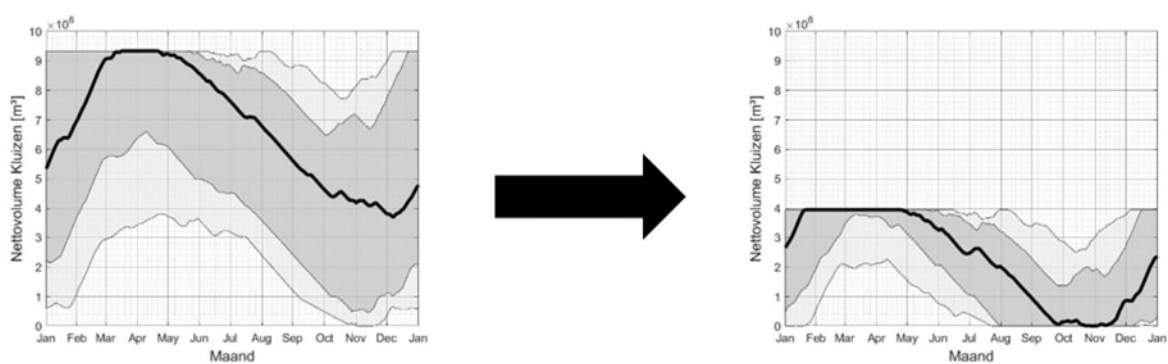


Figuur 5: Systeembetrouwbaarheid κ voor verschillende productievolumes uit het spaarbekken (horizontale as) en extra innames te Nevele (verticale as)

3.4 Impact renovatie spaarbekken 1

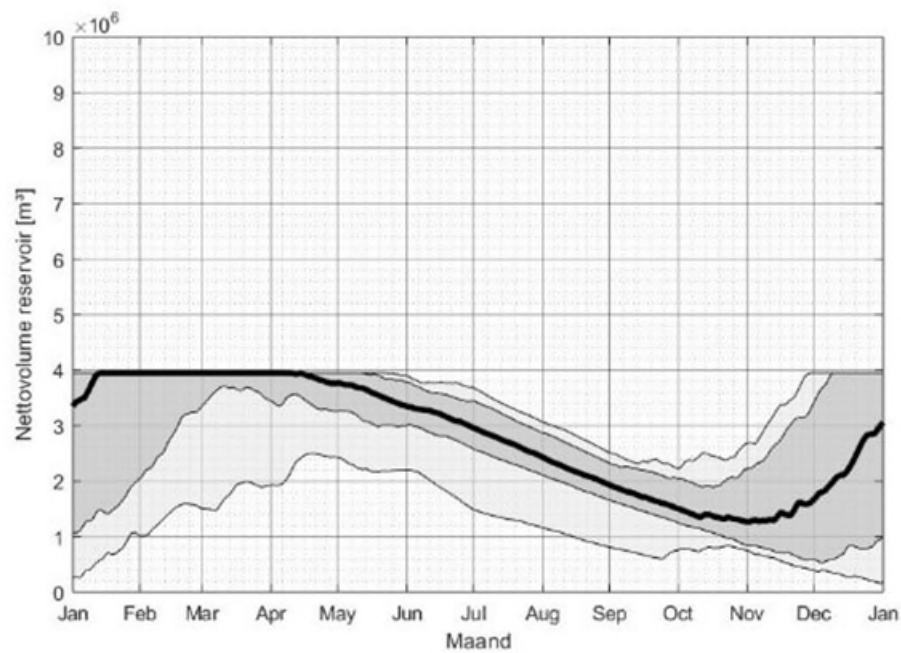
Omdat er tijdens de uitvoering van de studie renovatiewerken gepland waren voor één van de twee spaarbekken in Kluizen, werd er een analyse gemaakt van de verandering in waterbeschikbaarheid als gevolg van deze verminderde reservoircapaciteit. Ook werd er een inschatting gemaakt van de haalbare productiedebieten.

De verminderde reservoircapaciteit heeft een sterke daling van de systeembetrouwbaarheid tot gevolg. In Figuur 6 wordt het netto volume in het spaarbekken onder de beperking weergegeven. In meer dan 50% van de simulatiejaren zal het reservoir droog staan in het droge seizoen. Voor eenzelfde productie zal het reservoir meer dan 20% van de tijd droog zal staan. Het is dus duidelijk dat de productie gedurende deze renovatie aangepast moet worden voor de periode waarin er geen water kan worden ingenomen. Een variabele productie, waarbij het water uit het spaarbekken gedurende de droge periode wordt aangevuld met grondwater en import via andere bronnen zal nodig zijn om aan de behoeften te voldoen.



Figuur 6: Links – Netto volume in de spaarbekken onder normale capaciteit en productiedebieten. Rechts – Nettovolume in de spaarbekken onder gereduceerde opslagcapaciteit en normale productiedebieten. De donkere band geeft de jaren weer tussen de 20- en 80-percentielwaarden, de lichte band tussen de 10- en 90-percentielwaarden. De donkere lijn is de 50-percentiel.

Verder werd er nagegaan welke productie maximaal haalbaar is. Doordat er niet op voorhand geweten is over welke periode er ingenomen kan worden, werd er gebruik gemaakt van statistische gegevens over de droge periodes. Er werden kansverdelingen gekalibreerd voor de start- en einddata van de innameperiodes. Deze laten toe om met een vooropgesteld veiligheidsniveau een inschatting te maken van de duur van de droge periode en het productiedebiet vast te leggen. Als strategie werd er gekozen om uit te gaan van een startdatum van het volgende seizoen die met een bepaalde kans wordt overschreden. Omwille van de vrij grote spreiding op deze startdata geeft dit een datum behoorlijk laat op het seizoen. Zo kan bijvoorbeeld op basis van de voorgestelde kansverdeling gesteld worden dat met 95% kans het volgende innameseizoen zal starten voor 19 januari. In Figuur 7 worden de percentielen voor dagelijkse volumes in het spaarbekken gegeven waarbij er 95% zekerheid is dat de startdata worden overschreden. Het is duidelijk dat de methode een veilige overschatting maakt van de duur van de droge periode waardoor het reservoir slechts zeer uitzonderlijk droog komt te staan. Als keerzijde van deze veilige benadering is het gemiddelde productiedebiet over de langere termijn wel lager, namelijk 25 366 m³/dag. In deze analyse wordt verondersteld dat, omwille van de onzekerheid op de kwaliteit, er geen bijkomende inname kan plaatsvinden.



Figuur 7: Netto volume in de spaarbekkens onder gereduceerde opslagcapaciteit en voorspelde duur van de droge periode met $\alpha=95\%$. De donkere band geeft de jaren weer tussen de 20- en 80-percentielwaarden, de lichte band tussen de 10%- en 90-percentielwaarden. De donkere lijn is de 50-percentiel.

4 Modellerings waterkwaliteit

Naast de waterkwantiteit speelt waterkwaliteit een belangrijke rol in de balans tussen vraag en aanbod van drinkwater. Wanneer de kwaliteit in de waterlopen ontoereikend is zal er geen water kunnen worden ingenomen in het spaarbekken en bestaat het risico dat aan de gevraagde productiehoeveelheden niet kan worden voldaan.

Het waterbalansmodel dat hiervoor werd toegelicht gebruikt of simuleert geen variabelen waarmee de kwaliteit van het oppervlaktewater in het studiegebied kan worden beoordeeld. Daarom werd er nagegaan welke bronnen van verontreiniging er in het gebied aanwezig zijn en hoe deze gemodelleerd kunnen worden. In combinatie met de hierboven beschreven waterbalans van het captatiegebied kan zo een volledig beeld gegeven worden van de waterbeschikbaarheid.

4.1 Bronnen verontreiniging

Er zijn verschillende bronnen van vervuiling op waterlopen waaronder bedrijven, rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's), riooloverstorten en andere huishoudelijke lozingen. Daarnaast zijn er ook diffuse bronnen zoals de uitspoeling van nutriënten in omliggend landbouwgebied. Naast de instroom van vervuild water wordt de kwaliteit ook bepaald door verschillende complexe fysische en chemische processen die het transport, transformatie en onderlinge interactie van de verschillende polluenten verklaren.

De industriële lozingen en lozingen van RWZI's op de waterlopen in het captatiegebied zijn verwaarloosbaar. Via het WEISS-model (Water Emission Inventory Support System) (Vlaamse Milieumaatschappij & VITO, 2014) werd een inschatting gemaakt van de rechtstreekse lozingen van niet aangesloten huishoudens, lozingen van rioleringsstelsels die niet op een RWZI aansluiten, overstorten en de hoeveelheid organisch materiaal dat in de waterloop wordt aangevoerd via de neerslagafstroming.

De voornaamste bron van nutriëntenvervuiling in het oppervlaktewater blijken de diffuse verliezen van stikstof- en fosforverbindingen door het gebruik van meststoffen in de landbouw. De belasting werd hier ingeschat met het NutrientEmissieModel (NEMO), een nieuw model dat werd ontwikkeld in opdracht van de VMM (Vlaamse Milieumaatschappij, 2017). Deze inschatting werd gekalibreerd aan de meetresultaten beschikbaar in het gebied. Daarnaast komen stikstofnutriënten ook in de waterlopen terecht via natte depositie; deze hoeveelheid werd ingeschat via het WEISS-model (Vlaamse Milieumaatschappij & VITO, 2014). Ze werden gebaseerd op de simulaties van het Vlaams Operationeel Prioritaire Stoffenmodel (VLOPS). De totale pollutenvrachten werden tenslotte vertaald m.b.v. een verdeelfractie naar een instromende massa $\text{NH}_4\text{-N}$ en $\text{NO}_3\text{-N}$, orthofosfaat (o-P) en particulair fosfaat (p-P).

Ten slotte bevat het afstromend hemelwater ook een hoeveelheid opgeloste zuurstof. De concentratie werd op basis van de watertemperatuur T [°C] ingeschat met een formule voor de saturatieconcentratie (APHA, 1985). Daarnaast is de watertemperatuur zelf ook een belangrijke *driver* van de fysicochemische processen die de concentratie van polluenten in de waterloop doen veranderen. Hiervan zijn er geen meetreeksen beschikbaar daarom wordt de watertemperatuur ingeschat met een regressieanalyse op basis van de luchttemperatuur.

4.2 Modellen waterkwaliteit

Er werd nagegaan welke modellen er kunnen gebruikt worden om de waterkwaliteitsparameters zo goed mogelijk te benaderen. Zowel een conceptueel model als een data-gedreven model werden toegepast. In de modellen worden de volgende waterkwaliteitsparameters gemodelleerd: opgeloste zuurstof (DO), ammonium (NH_4) en

nitraat (NO_3). Voor elk hierboven beschreven deelstroomgebied werd een deelmodel opgesteld. Het resultaat van de gevolgde methode is een verzameling van verschillende deelmodellen, samen in staat om een eerste inschatting te geven van de concentratie van een aantal waterkwaliteitsparameters.

4.2.1 Conceptueel waterkwaliteitsmodel

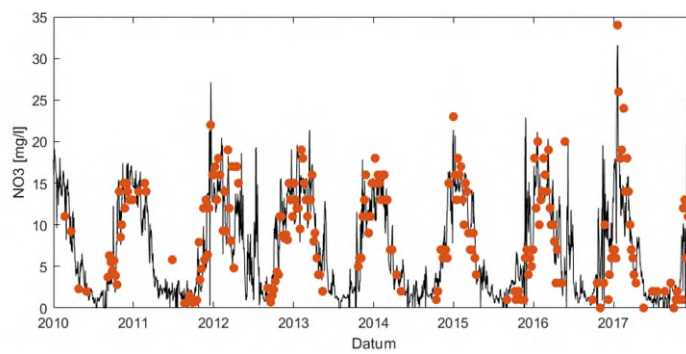
Bij het conceptueel waterkwaliteitsmodel worden de verschillende fysicochemische kwaliteitsprocessen, die de concentratie van verschillende waterkwaliteitsparameters in de waterloop beïnvloeden, gemodelleerd. Deze worden geaggregeerd of uitgemiddeld voor een groot gebied. Het resulterend model is in staat de seizoensale trend van de concentraties te voorspellen maar de ogenblikkelijke waarnemingen worden niet altijd goed benaderd (zie bijlage I). De concentratie NH_4 vertoont een grotere afwijking met de metingen dan de resultaten van DO en NO_3 . Verschillende oorzaken kunnen aan de basis liggen voor deze afwijkingen, met als meest waarschijnlijke de uitmiddeling over een groot gebied en de beperkte nauwkeurigheid van de waterkwaliteitsmodellen. Daarnaast worden er ook een aantal veronderstellingen gemaakt zoals een constante reaeratiecoëfficiënt en een verdelingscoëfficiënt voor de inkomende stikstofvracht.

4.2.2 Data-gedreven waterkwaliteitsmodel

Het data-gedreven waterkwaliteitsmodel is gebaseerd op een verband tussen de verschillende randvoorwaarden en de pollutantconcentraties op de meetlocaties, zonder expliciet rekening te houden met de verschillende fysische en chemische processen. Het voordeel van dit soort model voor deze studie is dat de grote onzekerheden op de hydrologische modellen, de aannames voor de werking van pompstations en gemalen, de aan- of afwezigheid van niet gemodelleerde waterlopen, leidingen en de ruwe indeling in deelreservoirs niet worden overgedragen naar de inschattingen van de waterkwaliteit. De invoer van de modellen kan dus beperkt worden tot randvoorwaarden die met grotere nauwkeurigheid gekend zijn, zoals neerslag- en temperatuurmetingen. Het belangrijkste nadeel is dat de data-gedreven modellen niet langer in staat zullen zijn om de impact te berekenen van maatregelen die betrekking hebben op de waterbalans, zoals aangepaste sturing van de gemalen, of veranderingen van randvoorwaarden die niet als input worden beschouwd, zoals bijvoorbeeld landgebruik.

Om tegemoet te komen aan de zeer complexe, niet-lineaire interacties van de pollutanten, wordt gebruik gemaakt van neurale netwerken om de concentraties te modelleren. In de eerste testfase werd een pool van variabelen opgesteld met o.a. de gemiddelde temperatuur voor de dag van de meting/voorspelling, neerslagtotaal van de dag van de meting.... Daarna werd er gekeken welke combinatie van variabelen de beste resultaten oplevert voor elke waterkwaliteitsparameter.

Deze methode blijkt eveneens in staat om de aanwezige zuurstof- en nitraatconcentraties te voorspellen; zie voorbeeldresultaat in Figuur 8. De concentratie ammonium is ook met deze methodologie moeilijk te voorspellen, met als voornaamste reden dat de ammoniumconcentratie voor een belangrijk deel bepaald wordt door de aanwezige hoeveelheid organisch materiaal in de waterloop. Deze kan omwille van het gebrek aan metingen niet worden meegenomen als randvoorwaarde. Daarnaast vertonen de metingen van de ammoniumconcentratie een zeer sterke variatie, met soms erg hoge piekconcentraties, en een minder duidelijk seizoenaal verloop. In tegenstelling tot de conceptuele modellen blijken de neurale netwerken wel in staat om de korte-termijn variatie die in de metingen wordt waargenomen, te gaan benaderen. Ook de lange-termijn of seizoenale variatie wordt hier beter voorspeld. De hogere piekconcentraties worden echter nog steeds niet altijd goed voorspeld, vermoedelijk omdat deze pieken in de hele periode slechts weinig voorkomen.



Figuur 8: Door data-gedreven model gesimuleerde (zwart) en gemeten (oranje) concentratie nitraat voor meetlocatie K11

5 Conclusie

Voor elk deelstroomgebied van de captatiezone werd een hydrologisch model opgesteld. Deze werden samengevoegd met een hydraulisch model om zo één groot waterbalansmodel te verkrijgen voor het volledig captatiegebied van het WPC Kluizen. Op basis van dit model werd de huidige situatie gekwantificeerd: 98% betrouwbaarheid voor een huidige gemiddelde productie van 36 700 m³ komende van oppervlaktewater en 79% betrouwbaarheid voor een hogere productie van 70 000 m³ per dag uit oppervlaktewater.

Hiernaast werden verschillende scenario's onderzocht met betrekking tot het toekomstig klimaat, extra innames en het effect van de renovaties in spaarbekken 1. Door de effecten van klimaatverandering zou de betrouwbaarheid in het slechtste geval zakken van 79% naar ong. 60% bij gebruik van uitsluitend oppervlaktewater. Aanvullend gebruik van grondwater speelt een zeer belangrijke rol bij het verzekeren van de bedrijfsvoering; een bijkomende inname van grondwater in het captatiegebied kan helpen vermijden dat de spaarbekkens onvoldoende gevuld zijn bij het begin van een droge zomer. Een extra inname van 10 000 m³ grondwater leidt tot een verhoging van de systeembetrouwbaarheid van 94.4% tot 99.8% en een daling van het aantal faalperiodes (over 30 j.) van 23 naar 2. Een extra inname via de Poekebeek werd ook onderzocht. De resultaten geven aan dat de extra inname van oppervlaktewater uit de Poekebeek helpt om bij een drogere winterperiode de spaarbekkens toch volledig te vullen. Wel moet er een behoorlijk grote fractie overgedragen worden om de systeembetrouwbaarheid significant te vergroten. Een innamefractie van 75% uit de Poekebeek zorgt voor een verhoging in systeembetrouwbaarheid van 94.4% naar 98.2 %. De gevolgen van de renovatie van spaarbekken 1 op de waterbeschikbaarheid zijn, zoals verwacht, zeer groot: het gewone productievolume kan niet worden volgehouden. In deze studie werd aangegeven bij welke faalkans welke productiedebieten aangehouden kunnen worden, zo werd geconcludeerd dat bij een faalkans van 5% een productiedebiet van 25 366 m³ behouden kan worden.

Naast de waterkwantiteit is een verkenning gedaan om waterkwaliteitsaspecten te modelleren, zodat deze in een vervolgstudie kunnen worden meegenomen in de analyse. Eerst werd een overzicht gemaakt van de belangrijkste bronnen van waterverontreiniging in dit studiegebied. Daarna werden er twee soorten modellen getest waarmee de concentratie van verschillende pollutanten kan worden begroot per deelreservoir van het waterbalansmodel. De resultaten van de conceptuele waterkwaliteitsmodellen en de data-gedreven modellen zijn van gelijkaardige nauwkeurigheid, maar verschillen per pollutant. De modellering van de pollutantconcentratie met neurale netwerken kan dus als een alternatief gezien worden voor de conceptuele methode, met als grootste voordeel dat de grote onzekerheden van het waterbalansmodel geen impact hebben op de resultaten van de waterkwaliteitssimulaties. Het nadeel van deze methode is dat deze niet langer in staat is om de impact te berekenen van maatregelen die betrekking hebben op de waterbalans.

6 Verder onderzoek

Het waterkwantiteitsmodel zal in de vervolgfase van deze studie verder geoptimaliseerd worden met o.a. bijkomende informatie over het innamedebiet en het gebruik van grondwater. Ook zal het stroomgebied van de Poekebeek toegevoegd worden als een extra bron en zal de gravitaire afstroom in het deelstroomgebied van 'T Liefken meegenomen worden. Daarnaast is een bijkomende validatie aangewezen, met een focus op de recente droge zomers.

Verder onderzoek naar de effecten van maatregelen om de waterbeschikbaarheid te verhogen, onder variërende randvoorwaarden en rekening houdend met (combinaties van) meerdere maatregelen, is wenselijk. Er kunnen landgebruiksscenario's doorgerekend worden en scenario's m.b.t. het toekomstig drinkwaterverbruik. Ook zouden verschillende beheerstrategieën afgetoetst kunnen worden zoals het effect van een beperking van de innameperiode, het gebruik van andere waterbronnen, etc.

De modelarchitectuur voor waterkwaliteit kan verder geoptimaliseerd worden. Er kan nagegaan worden of de combinatie van fysische en empirische modellen gewenste resultaten oplevert. Daarnaast kan er ook onderzocht worden of het data-gedreven model beter presteert met andere/meer verklarende variabelen en/of meerdere netwerken. Het zou ook interessant zijn om dit luik uit te breiden naar andere waterkwaliteitsparameters zoals fosfor en gewasbeschermingsmiddelen.

Het uiteindelijke doel is het samenvoegen van het waterkwantiteitsmodel met het waterkwaliteitsmodel tot een geïntegreerd model van het captatiegebied van het WPC Kluizen. Zo kan er nagegaan worden wat het totale effect zal zijn van verschillende scenario's zoals klimaatscenario's, meer overstorten, andere waterbeheerstrategieën, etc.

7 Referenties

APHA. (1985). Standard methods for the examination of water and wastewater, 16th edition. Washington D.C.: American Public Health Association.

Baguis, P., Roulin, E., Willems, P., Ntegeka, V. (2010) Climate change scenarios for precipitation and potential evapotranspiration over central Belgium. *Theor Appl Climatol* 99:273–86.

Brouwers J., Peeters B., Van Steertegem M., van Lipzig N., Wouters H., Beullens J., Demuzere M., Willems P., De Ridder K., Maiheu B., De Troch R., Termonia P., Vansteenkiste Th., Craninx M., Maetens W., Defloor W., Cauwenberghs K. (2015) MIRA Klimaatrapport 2015, over waargenomen en toekomstige klimaatveranderingen. Vlaamse Milieumaatschappij i.s.m. KU Leuven, VITO en KMI. Aalst, Belgium, 147 p.

MIRA (2013) Milieurapport Vlaanderen, Themabeschrijving Waterkwantiteit. Peeters B., Vlaamse Milieumaatschappij, www.milieurapport.be

Ntegeka, V., Baguis, P., Roulin, E., Willems P. (2014) Developing tailored climate change scenarios for hydrological impact assessments. *J Hydrol* 508:307–21

Perrin, M., Andréassian, V. (2003) Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *J Hydrol* 279:275–89

Vlaamse Milieumaatschappij & VITO (2014). Water Emissie Inventaris: Een plangericht informatiesysteem om de vervuiling van de waterlichamen te verminderen. Vlaamse Milieumaatschappij, Erembodegem.

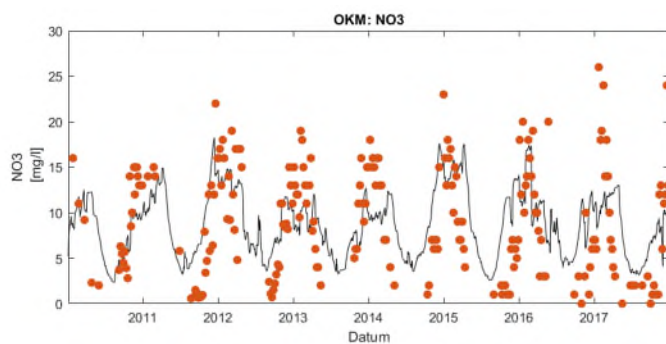
Vlaamse Milieumaatschappij (2017). Bronnen van waterverontreiniging in 2016. VMM, Afdeling Rapportering Water, Aalst.

Bijlage

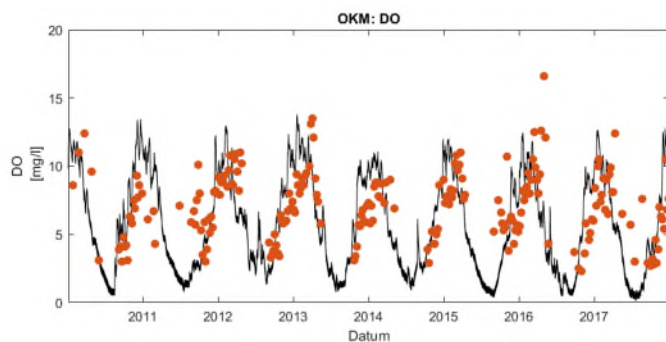
I Resultaten modellering waterkwaliteit

I.1 Resultaten conceptueel model

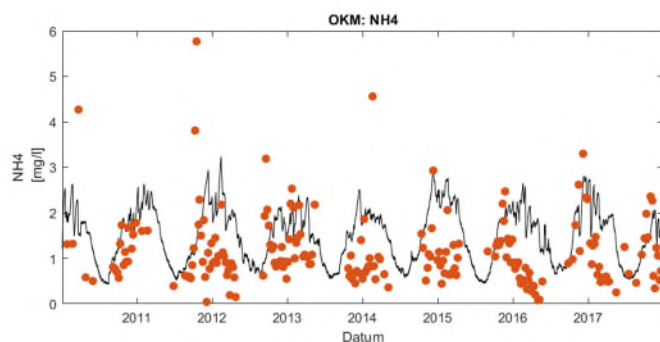
Resultaten van het conceptueel model voor het gebied Oude Kale Merenbeek (locatie K11) voor verschillende waterkwaliteitsparameters, waaronder nitraat (Figuur 9), opgelost zuurstof (Figuur 10) en ammonium (Figuur 11).



Figuur 9: Gesimuleerde (zwart) en gemeten (oranje) concentratie nitraat voor reservoir OKM en locatie K11.



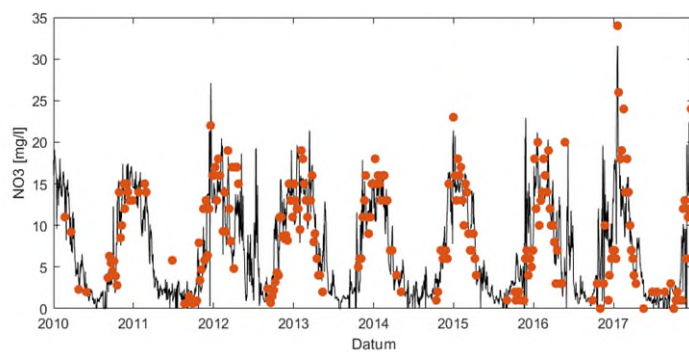
Figuur 10: Gesimuleerde (zwart) en gemeten (oranje) concentratie opgeloste zuurstof voor reservoir OKM en locatie K11



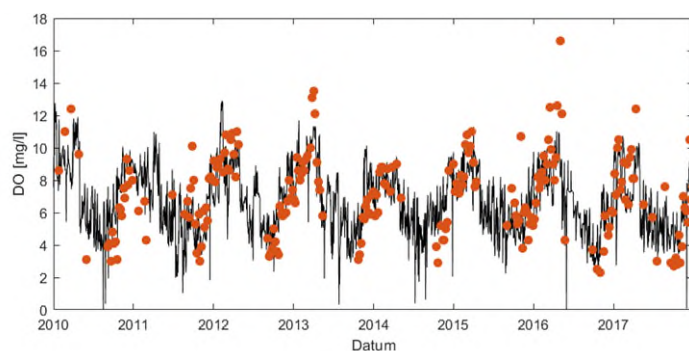
Figuur 11: Gesimuleerde (zwart) en gemeten (oranje) concentratie ammonium voor reservoir OKM en locatie K11

I.II Resultaten regressie model

Resultaten van het regressiemodel voor het gebied Oude Kale Merenbeek (locatie K11) voor verschillende waterkwaliteitsparameters, waaronder nitraat (Figuur 12) als opgelost zuurstof (Figuur 13).



Figuur 12: Gesimuleerde (zwart) en gemeten (oranje) concentratie nitraat voor reservoir OKM en locatie K11.



Figuur 13: Gesimuleerde (zwart) en gemeten (oranje) concentratie opgelost zuurstof voor reservoir OKM en locatie K11.