

Verwacht: onzeker hoogwater op Schelde en Dender

De voorspellingsmodellen geven meermaals per dag voorspellingen van waterstanden en debieten en dit tot 48 uur in de toekomst. Voor deze berekeningen wordt gebruik gemaakt van de huidige waterstanden en debieten, de neerslagvoorspellingen en het verwachte zeeniveau aan de Belgische kust en aan de Scheldemonding. Uiteraard bevatten de resultaten van de voorspellingen verschillende onnauwkeurigheden. De belangrijkste daarvan zijn terug te voeren tot de gebruikte invoergegevens en de kwaliteit van de modelberekeningen.

Ter controle van de modelresultaten werd een procedure uitgewerkt die de voorspellingen vergelijkt met de geobserveerde waarden. Dit levert finaal percentielwaarden op die gebruikt worden om nauwkeurigheidintervallen in de toekomst te bepalen. Deze techniek is zowel toepasbaar op voorspelde debieten als op waterstanden. De bekomen resultaten worden aangewend om de gebruiker een idee te verschaffen van de mogelijke variabiliteit of onzekerheid van de gepubliceerde modelvoorspellingen. Deze techniek werd toegepast voor de waterstanden op de Schelde en de debieten op de Dender.

De real-time voorspellingsmodellen van de Vlaamse bevaarbare waterlopen leveren tijdreeksen van debieten en waterstanden voor verschillende plaatsen langsheen de rivier. Deze tijdreeksen bevatten een voorspelling van de verwachte waarden tot 48 uur in de toekomst. Uiteraard zijn deze voorspellingen onderworpen aan verschillende onnauwkeurigheden, waarvan de belangrijkste terug te voeren zijn tot de gebruikte invoergegevens en de kwaliteit van de modelberekeningen.

De voorspellingsmodellen op het Waterbouwkundig Laboratorium

Het voorspellingssysteem laadt verschillende keren per dag de meest recente meetgegevens van waterstanden, debieten, neerslag etc. in om te gebruiken in de modelberekeningen. Als bijkomende invoer in de voorspellingperiode wordt er gebruik gemaakt van neerslagvoorspellingen van het KMI. Al deze data worden gebruikt in de real-time gecombineerde hydrologisch-hydrodynamische modellen. Op basis van de 48 uren dat het model terugrekent in de tijd worden bepaalde foutcorrectie-termen bepaald en worden de optimale begincondities bereikt om de voorspellingen in de toekomst te berekenen.

Kwaliteitscontrole van de voorspellingsresultaten

Om de nauwkeurigheid van de voorspellingsmodellen in te schatten, wordt er een vergelijking gemaakt tussen voorspellingsresultaten en de overeenkomstige meetgegevens. Dit houdt in dat over een langere periode berekeningen gedaan worden alsof elk specifiek moment in deze periode het "nu" is en er ook telkens 48 uur voor dat moment en 48 uur na dat moment gerekend wordt. Door deze tijdreeksen statistisch te vergelijken met de beschikbare meetreeksen over dezelfde periode wordt een idee gevormd van de voorspellingsnauwkeurigheid van de modellen.

Niet-normaliteit

De afwijkingen tussen modelresultaten en meetgegevens vertonen geen normaal verdeeld gedrag. Ook andere kansverdelingsvormen blijken geen goede overeenkomsten te vertonen. Het centraal gedeelte van verdeling en de grotere en lagere waarden (de zogenaamde staarten van de verdeling) hebben bovendien een sterk verschillend gedrag (geen unimodale verdeling). Dat houdt in dat standaard statistische technieken niet gebruikt kunnen worden. De redenen voor het niet-unimodaal gedrag van de verschillen hebben onder andere te maken met een aantal foutcorrecties uitgevoerd door het voorspellingssysteem waardoor getracht wordt om de modelresultaten beter te laten overeenkomen met de geobserveerde waarden (data-assimilatie) en met onnauwkeurigheden in de voorspelde neerslag.

Daarom wordt er overgegaan tot het gebruik van verdelingsvrije statistiek. Hierbij wordt er geen verdeling gefit aan de reeks van modelafwijkingen (vandaar de benaming), maar worden de vastgestelde waarden rechtstreeks gebruikt (empirische benadering). In de praktijk komt het er dan op neer dat de verschillen tussen meet- en modelwaarde gerangschikt worden van klein naar groot. Elke waarde krijgt een rangnummer en zijn bijhorende procentuele locatie in de reeks. Dit laat toe om zeer snel de verschillende percentielwaarden van de afwijkingen te bepalen. Een bijkomend voordeel van deze manier van werken is dat op een zeer eenvoudige manier een automatisering mogelijk wordt, zodat de berekeningen snel voor verschillende meetplaatsen uitgevoerd kunnen worden.

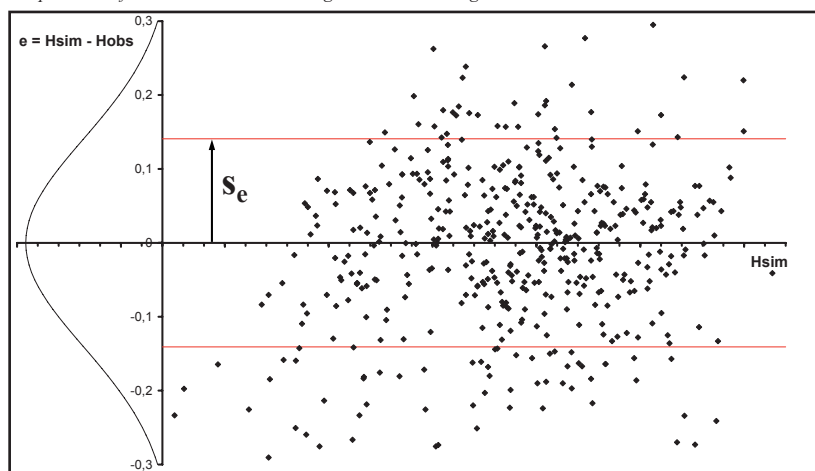
Verschillen getij – niet-getij

Het voorkomen van lichte tijdsverschuivingen leidt vaak tot grote afwijkingen tussen een voorspelde waarde en een gemeten waarde. Omwille van de harmonische beweging in het geval van een tijpost (meetstation met waterhoogte- of debietmetingen onderhevig aan het getij) kan dit tot een sterke

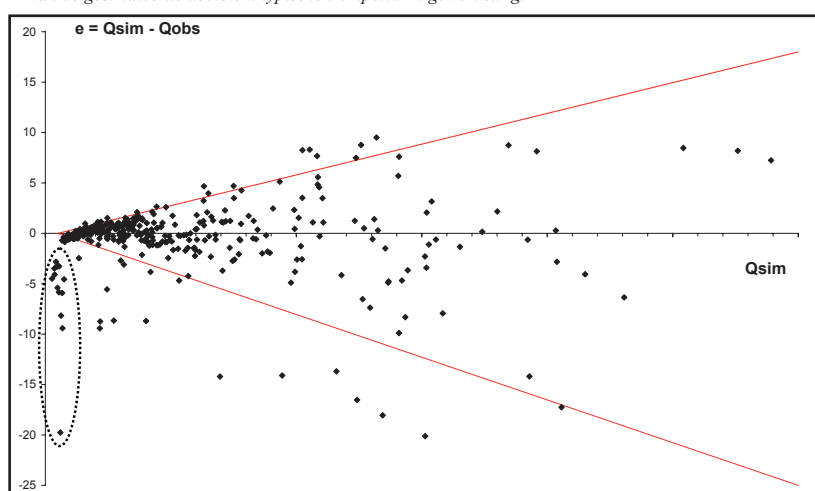
vervalsing van de resultaten leiden. Daarom wordt er een verschillende werkwijze gevolgd voor tij- en niet-tijposten. In het geval van tijstations wordt er eerst een extractie uitgevoerd van de hoog- en laagwaters met het bijhorende tijdstip uit zowel de voorspelde als de gemeten reeksen. Vervolgens

wordt het gemeten hoog-/laagwater gezocht dat het dichtst in de buurt ligt van het voorspelde hoog-/laagwater. Aldus wordt de foutenanalyse niet vertekend omwille van tijdsverschuivingen én is het tevens mogelijk om een onzekerheid op het tijdstip van voorspelling te definiëren.

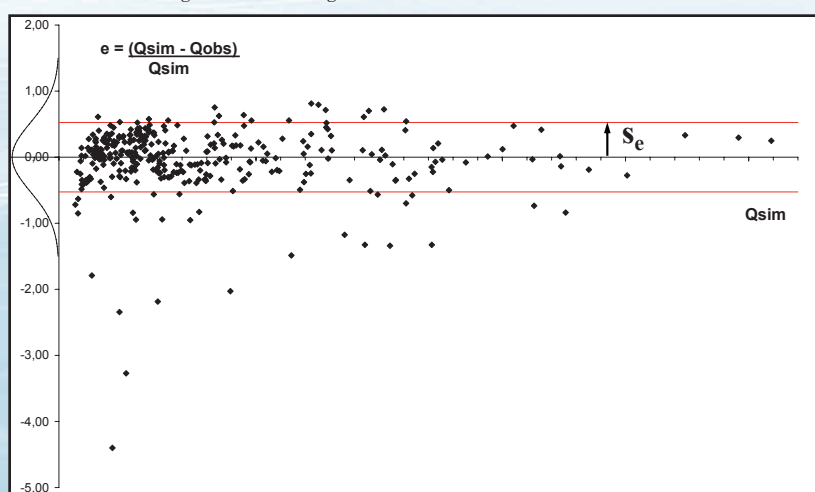
Figuur 1: Gecorrigeerde absolute modelafwijkingen ($H_{sim} - H_{obs}$) voor het station Antwerpen-Loodsgebouw (Zeeschelde) ten opzichte van de gesimuleerde waterstanden, met aanduiding van de standaardafwijking op de modelfouten en de overeenkomstige normaalverdeling.



Figuur 2: Absolute modelafwijkingen ($Q_{sim} - Q_{obs}$) voor het station Overboelare (Dender) ten opzichte van de gesimuleerde debieten: typische trompetvormige verdeling.



Figuur 3: Relatieve modelafwijkingen ($\frac{Q_{sim} - Q_{obs}}{Q_{sim}}$). Vaak voor het station Overboelare (Dender) ten opzichte van de gesimuleerde debieten, met aanduiding van de standaardafwijking op de relatieve fouten en de overeenkomstige normaalverdeling.



Omdat het in het geval van niet-tijposten vrij moeilijk is om een eventuele tijdsverschuiving te ontdekken en te kwantificeren, wordt er een eenvoudige overeenkomst gezocht tussen voorspelde waarde en gemeten waarde door hetzelfde tijdstip voor beide reeksen te nemen. De onzekerheid op het resultaat ten gevolge van tijdsverschuivingen wordt dan meegenomen in de algemene onzekerheid, als een deel van de onzekerheid op de grootte van de voorspelde waarde. Als we over onzekerheid spreken, zullen we immers voornamelijk denken aan het verschil in grootte tussen het debiet of de waterstand van de voorspelling en die van de werkelijkheid, en die is mogelijks mede het gevolg van tijdsverschuivingen op het voorspellingsresultaat.

Uitwerking van de methodologie

Om verantwoorde uitspraken te kunnen doen over het volledige bereik van waterstanden of debieten, is het noodzakelijk dat men het verband onderzoekt tussen de modelfout en de grootte van de modeluitvoer. Dit verband kan zich op verschillende manieren manifesteren, met in de uiterste gevallen een constante absolute fout, of een constante relatieve fout. Indien de reeks over het ganse bereik eenzelfde verdeling van absolute modelfouten vertoont ($e = H_{sim} - H_{obs}$, waarbij H_{sim} de gesimuleerde waterstand, H_{obs} de geobserveerde waarde en e de modelfout voorstelt), is er geen transformatie nodig. Dit is vaak typisch het geval voor waterstanden, zoals getoond wordt in *Figuur 1*.

Echter, wanneer de absolute modelfouten voor de debieten ($e = Q_{sim} - Q_{obs}$) uitgezet worden tegen het gesimuleerde debiet, dan wordt typisch een trompetvormige figuur verkregen zoals getoond in *Figuur 2*. In dit geval is er dus geen sprake van een constante absolute afwijking over het volledige debietbereik. Wanneer de absolute fouten echter gedeeld worden door het overeenkomstige gesimuleerde debiet, dan spreekt men van relatieve fouten ($e = \frac{Q_{sim} - Q_{obs}}{Q_{sim}}$). Vaak blijkt daarbij dat de verdeling van de relatieve fouten voor debieten wel constant wordt over het volledige bereik. Dit wordt geïllustreerd in *Figuur 3*. Om deze constante verdeling van relatieve fouten te bereiken is het noodzakelijk om de debieten te onderwerpen aan een logaritmische transformatie.

Bijkomende voordelen van het gebruik van een logaritmische transformatie voor de debietreeksen zijn:

- De toepassing van de verdeling van modelfouten voor de berekening van betrouwbaarheidsintervallen op het debiet of de waterhoogte leidt nooit tot negatieve waarden.

- De grootte van de afwijkingen is recht evenredig met de grootte van het gesimuleerde debiet, zodat de standaarddeviatie van de modelfouten kan voorgesteld worden via een constant percentage modelfout.

Uit de bovenstaande redenering volgt dat er geen transformatie wordt doorgevoerd op de waterstandsgegevens, maar wel op de debietgegevens. Na correctie met de mediane afwijking wordt er immers een constante absolute fout bereikt voor de waterstanden, terwijl de debieten voldoen aan een constante relatieve fout. De realiteit is evenwel vaak niet zo idealistisch. De mediaanfout verschilt vaak van nul en is net zoals de standaarddeviatie, vaak variabel met de debietgrootte, zelfs na eventuele transformatie. Om tegemoet te komen aan de variabiliteit in nauwkeurigheid overeenkomstig de grootte van de waarde, worden de gesimuleerde debietwaarden of waterstanden eerst ingedeeld in drie klassen met elk evenveel punten: laag, midden en hoog. Voor elke klasse worden de berekeningen herhaald zodat er afzonderlijke percentielwaarden bekomen worden. De bekomen percentielen worden dan als constante waarde toegepast op alle waarden die binnen die klassen vallen.

Een grafische voorstelling van deze techniek wordt voorgesteld in *Figuur 4*. De drie debietklassen worden getoond in combinatie met de bijhorende 10^e, 50^e en 90^e percentiel per klasse. De horizontale lijnen duiden op het constant houden van de percentielwaarden over de volledige klasse.

Zoals kan opgemerkt worden in *Figuur 4*, is de mediaan (= 50^e percentiel) van de gebruikte datareeks verschillend van nul en wordt deze ook groter naar hogere debieten toe. De mediaan verschillend van nul duidt op een systematische afwijking van de gesimuleerde waarden ten opzichte van de gemeten waarden. Deze mediaan

kan daarom gebruikt worden als correctiefactor om de systematische afwijkingen weg te werken.

Op termijn zal het de bedoeling zijn dat een geautomatiseerd systeem de databank HYDRA, waarin zowel de voorspellingsresultaten als de meetgegevens opgeslagen zijn, bevraagt voor het gewenste station en de gewenste periode. Dit levert twee tijdreeksen op: de voorspelde waarden en de bijhorende meetgegevens. In het geval van een tijdstation worden uit deze ruwe data eerst nog de hoog- en laagwaterwaarden geëxtraheerd met de bijhorende tijdstippen. Voor elke voorspelde waarde kan nu op basis van de mediaan een gecorrigeerde waarde berekend worden om te compenseren voor systematische afwijkingen in het model. Daarnaast kunnen ook verschillende percentielwaarden bepaald worden die gebruikt kunnen worden voor de voorstelling van nauwkeurigheidintervallen.

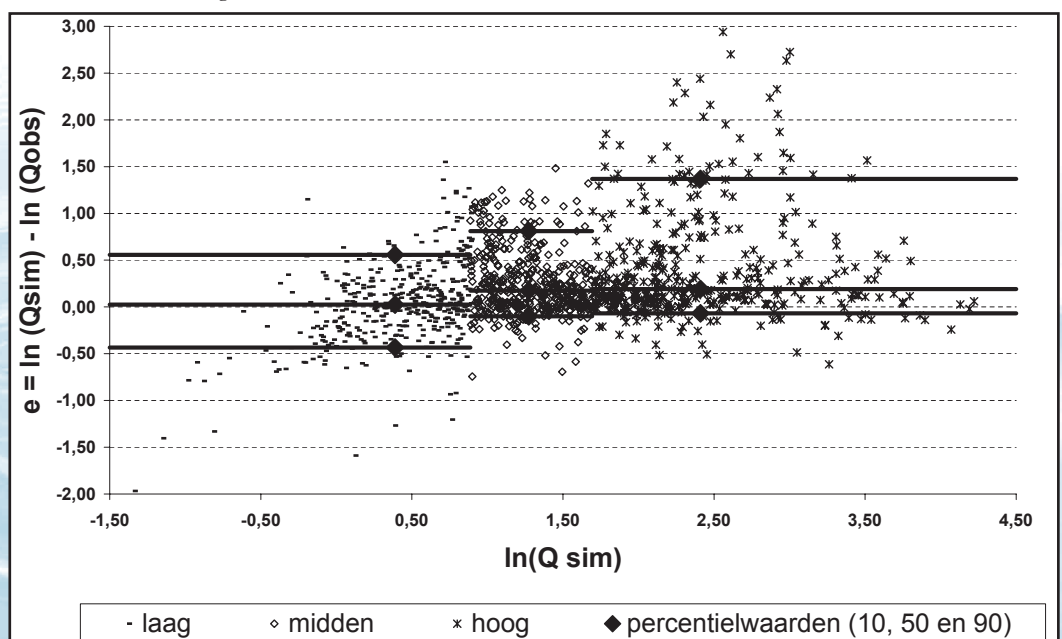
Resultaten

De methodologie werd ontwikkeld aan de hand van gedeelten van de tijdreeksen van het debietstation op de Dender te Overboelare en van de waterstanden op de Zeeschelde te Antwerpen – Loodsgebouw. Nadien werden validatieberekeningen uitgevoerd aan de hand van andere delen van deze tijdreeksen.

Zeeschelde – station Antwerpen - Loodsgebouw: hoogwaterstanden

Voor het station Loodsgebouw werden de voorspelde data en de gemeten data van de periode van 02/03/2006 tot 16/01/2007 gebruikt voor de bepaling van de berekeningsparameters. Dit werd uitgevoerd voor verschillende zichttijden (= het moment in de toekomst), met telkens een interval van 6 uur. In de eerste plaats werd ge-

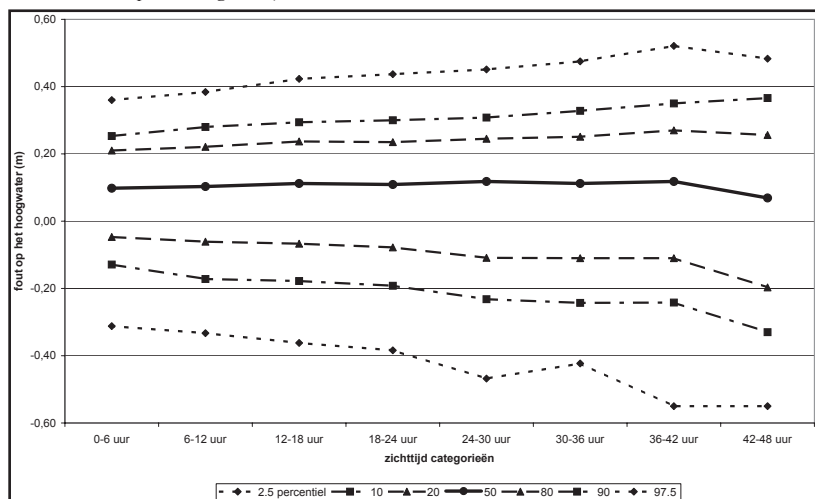
Figuur 4: Voorstelling van de afwijkingen ten opzichte van de gesimuleerde debieten (ln-transformatie). Tevens voorgesteld zijn de percentielwaarden voor de drie grootte-klassen van de debieten.



bruik gemaakt van alle data, m.a.w. zonder een opsplitsing te maken naar lage, normale en hoge waarden. De resultaten van de berekeningen zijn terug te vinden in *Figuur 5*.

Uit *Figuur 5* valt af te leiden dat er een systematische overschatting van gemiddeld 10 cm is van de waterstanden op het moment van hoogwater

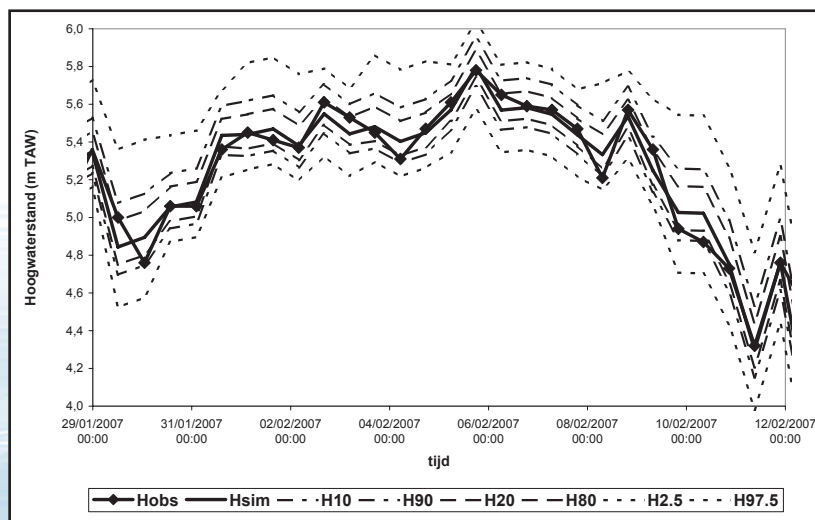
Figuur 5: Verloop van de fout op de hoogwatervoorspelling over de verschillende zichttijden (Zeeschelde, station Antwerpen-Loodsgebouw).



Tabel 1: Zeeschelde Station Antwerpen-Loodsgebouw: te verwachten waterstandsafwijking van het modelresultaat bij hoogwater bij de opgesomde percentielen en in de vermelde klassen voor een voorspelling van 6 uur in de toekomst (m).

percentielen	Laag (< 5.18 m TAW)	Normaal	Hoog (> 5.61 m TAW)	
90	-0.27	-0.05	0.03	= Hsim - H90
50	-0.04	0.13	0.19	= Hsim - H50
10	0.11	0.24	0.29	= Hsim - H10

Figuur 6: Voorstelling van de gecorrigeerde hoogwaterpeilen (Hsim) voor de Schelde te Antwerpen (voorspelling 6 uur in de toekomst), de bijhorende percentielgrenzen (H2,5 tot H97,5) en de gemeten waterstanden (Hobs).



Tabel 2: Station Dender – Overboelare: te verwachten verhouding tussen de opgesomde percentielen en het modelresultaat in de drie vermelde klassen voor een voorspelling 6 uur in de toekomst (-).

percentielen	Laag (< 3.16 m³/s)	Normaal	Hoog (> 6.33 m³/s)	
90	1.37	1.14	1.49	= Q90/Qsim
50	0.71	0.80	0.98	= Q50/Qsim
10	0.43	0.34	0.37	= Q10/Qsim

(= 50^e percentiel H50). De waarden van de 50^e percentiel kunnen daarom gebruikt worden als correctie om deze systematische afwijking te compenseren. Er volgt ook uit *Figuur 5* dat de onnauwkeurigheid groter wordt bij grotere zichttijden. In *Tabel 1* wordt de verwachte afwijking op de hoogwaterwaarden gegeven, voor drie verschillende klassen. De gevonden percentielwaarden van de afwijkingen zijn in een volgend stadium gebruikt voor validatieberekeningen op basis van een andere periode 17/01/2007 tot 25/02/2007. Voor een zichttijd van 0 tot 6 uur in de toekomst wordt een gecorrigeerde waterstand berekend (gebaseerd op de H50) en geven H10 en H90 (10% en 90% percentielen) een interval weer waarin 80 % van de observaties verwacht worden. Tussen de aldus bekomen gecorrigeerde waterstandreeks en de meetresultaten werden enkele statistische parameters bepaald. De gemiddelde afwijking bedroeg -2.7 cm, met een maximale onderschatting van 44 cm en een maximale overschatting van 23 cm. Van alle meetresultaten over die periode viel ruim 78 % binnen het interval gevormd door H10 en H90. De breedte van dit interval is, omwille van de toegepaste rekentechniek, niet constant maar varieert tussen 18 cm voor de lagere hoogwaters en 45 cm voor de hogere hoogwaters. Het resultaat van de validatie over een deel van de beschouwde periode is terug te vinden in *Figuur 6*.

Dender – station Overboelare: debieten

Voor station Overboelare werden de data gebruikt over de periode 14/05/2006 tot 27/02/2007. Deze reeks werd in twee gesplitst, zodat ongeveer twee derde als calibratiedeel dienst deed, m.a.w. om de parameters te bepalen, en het resterende derde als validatiedeel. De verdeling van de voorspelde debietwaarden in deze twee groepen gebeurde op een willekeurige manier, om zeker te zijn van een zo evenwichtig mogelijke verdeling van de hoge en lage debieten over beide groepen. Er werd enkel rekening gehouden met de debietwaarden afkomstig van de voorspelling van 6 uur in de toekomst.

Voor de debietwaarden werd er een logaritmische transformatie uitgevoerd op de originele data. Gelijkaardig aan het station Antwerpen - Loodsgebouw werd de mediaan gebruikt om een gecorrigeerd debiet te berekenen. *Tabel 2* geeft de resultaten weer van de berekeningen voor de voorspelling van 6 uur in de toekomst. Aangezien hier gewerkt werd met een logaritmische transformatie, worden er geen absolute afwijkingen getoond, maar verhoudingen. De waarden in *Tabel 2* geven de verhoudingen weer tussen de bekomen gecorrigeerde debieten (Q50) en de nauwkeurigheidsgrenzen (Q10 en Q90) enerzijds, en het overeenkomstige modelresultaat anderzijds voor drie verschillende grootte-klassen. Omwille van de gebruikte techniek zijn deze verhoudingen constant over de klassen, hetgeen niet geldt voor de absolute afwijkingen (Q50 - Qsim bijvoorbeeld). De waarden in *Tabel 2* hebben de volgende betekenis: in de debietklasse "Normaal"

heeft de 50^e percentiel een waarde van 0.80. Dit betekent dat het modelresultaat gemiddeld 20 % hoger is dan de verwachte meting. Het gecorrigeerde modelresultaat wordt dan berekend als 80 % van het oorspronkelijke modelresultaat. De bovengrens volgt dan op een gelijkaardige manier: nl. 14 % groter dan het oorspronkelijke modelresultaat, terwijl de ondergrens 66 % lager ligt.

Toepassing van de methodologie in de praktijk

Het uitvoeren van deze berekeningen leidt ertoe dat aan de resultaten van de voorspellingsmodellen een nauwkeurigheid kan meegegeven worden. Hierdoor stijgt de waarde van de resultaten aangezien de gebruiker daarmee een idee verkrijgt van de variatie die mogelijk is op de gepubliceerde debiet- of waterstandwaarde.

Daarnaast kan de techniek gebruikt worden om het effect van modelverbeteracties in te schatten. Er worden immers nog regelmatig wijzigingen aangebracht aan de modellen, ter verbetering van de resultaten. Door de kwaliteit van de resultaten te vergelijken voor en na de ingreep, kan een effectieve validatie doorgevoerd worden van het nut en de effectiviteit van die actie.

Conclusie

Ter controle van de modelresultaten van de hydrologisch-hydrodynamische real-time voorspellingsmodellen werd een procedure uitgewerkt die de voorspellingen vergelijkt met de geobserveerde waarden. Dit levert finaal percentielwaarden op die gebruikt worden om nauwkeurigheidsintervallen te bepalen. De bekomen resultaten worden aangewend om de gebruiker een idee te verschaffen van de mogelijke variabiliteit of onzekerheid

van de gepubliceerde modelvoorspellingen. De onzekerheidsresultaten zullen in de nabije toekomst gecommuniceerd worden naar de waterbeheerders. Op basis van hun feedback zal het systeem van onzekerheidsberekening en -communicatie stapsgewijs verder verfijnd en uitgebouwd worden. Het instrument zal ook gebruikt worden door het Waterbouwkundig Laboratorium om modelverbeteracties stapsgewijs te evalueren.

J. Ronsijn

*KULeuven - Laboratorium voor Hydraulica
Kasteelpark Arenberg 40
3001 Heverlee
Tel. 016/32 16 58
Email: jan.ronsyn@mow.vlaanderen.be*

J. Ronsijn

Projectingenieur

*KULeuven - Laboratorium voor Hydraulica
Kasteelpark Arenberg 40
3001 Heverlee
tel: +32 16 32 16 58
fax: +32 16 32 19 89
<http://www.kuleuven.be/hydra>*

*Vlaamse Overheid - Departement Mobiliteit en Openbare Werken
Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium
Hydrologisch Informatiecentrum HIC
Berchemlei 115
2140 Borgerhout
tel + 32 3 224.60.35
fax + 32 3 224.60.36
<http://watlab.lin.vlaanderen.be>*