

De K.U.Leuven heeft in samenwerking met het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België in opdracht van het Waterbouwkundig Laboratorium van de Vlaamse Overheid klimaatveranderingsscenario's voor Vlaanderen opgesteld.

Op basis van de huidige klimaatmodellen blijkt dat de neerslaghoeveelheden in Vlaanderen tijdens de winters tot 16% kunnen toenemen tot het jaar 2100.

Voor de zomermaanden kunnen de neerslaghoeveelheden met 6% tot 20% dalen.

Bovendien zal er beduidend meer water verdampen, wat de kans op watertekorten verhoogt.

De toename van de overstromingskans, die vaak met klimaatverandering wordt geassocieerd, is minder duidelijk.

De eerste resultaten geven reeds duidelijke signalen naar de waterbeheerders.

Patrick Willems, Omar Boukhris, Jean Berlamont, Katrien Van Eerdenbrugh, Peter Viaene en Joris Blanckaert



Impact van klimaatverandering

Klimaatverandering is van alle tijden, en kan zowel natuurlijk voorkomen als door menselijke activiteiten zijn veroorzaakt. Natuurlijke klimaatfluctuaties ontstaan bijvoorbeeld door variaties in de zonne-energie, o.a. door variaties in de rotaties van de aarde, maar ook door variaties in de stofconcentratie in de lucht door vulkaanuitbarstingen. Anderzijds zijn er de menselijke invloeden zoals de toename in de uitstoot van broeikasgassen (vooral CO₂) en trends in het landgebruik (vb. verstening). Feit is dat wereldwijd de temperatuur met gemiddeld 0.8 °C is toegenomen tijdens de laatste eeuw, waarvan 0.5 °C tijdens de laatste 30 jaar (*figuur 1*). Dat dit grotendeels het gevolg is van de toename in de broeikasgassen is algemeen door klimatologen aanvaard. De effecten op de voorkomingskansen van uitzonderlijke neerslag, en op de hydrologische condities zoals de overstromings- en laagwaterrisico's zijn evenwel minder duidelijk. In het kader van twee studieopdrachten wordt door de

Afdeling Hydraulica van de K.U.Leuven een wetenschappelijk objectief antwoord gezocht voor dit vraagstuk. De invloed wordt onderzocht van klimaatverandering op hydrologisch extreme condities (hoogwater en laagwater) langs Vlaamse rivieren. Een eerste studie is recent afgerond en werd uitgevoerd voor het Waterbouwkundig Laboratorium van het Departement Mobiliteit en Openbare Werken van de Vlaamse Overheid^[1]. In de studie is een methode ontwikkeld voor het inrekenen van klimaatverandering in toekomstige projecten van hydrologische en hydrodynamische modellering langs bevaarbare waterlopen, dit onder meer ter ondersteuning van het ontwerp van toekomstige waterbeheersingsprojecten. De methode is uitgetest voor het Vlaamse Denderbekken. De K.U.Leuven had voor bepaalde deeltaken bij de studie een onderaannemingsovereenkomst afgesloten met ingenieursbureau IMDC.

Een tweede studie wordt uitgevoerd voor Federaal Wetenschapsbeleid in samenwerking met het Koninklijk



Foto 1: Wereldwijd is de temperatuur tijdens de laatste eeuw met gemiddeld 0.8 °C toegenomen, waarvan 0.5 °C gedurende de laatste 30 jaar. Het impact van deze klimaatwijzigingen op de voorkomingskansen van uitzonderlijke neerslag, en op de hydrologische condities zoals de overstromings- en laagwaterisico's zijn tot nu toe niet erg duidelijk.

op Vlaamse rivieren

Meteorologisch Instituut van België (KMI). Deze studie heeft als titel "Climate change impact analysis on hydrological extremes along rivers and urban drainage systems" (CCI-HYDR project) en loopt nog tot einde 2009. Als voorlopige resultaten bij deze studie zijn klimaatveranderingsscenario's voor België opgesteld.

Het voorliggend artikel geeft een samenvattende beschrijving van deze scenario's en van de invloed op de hoog- en laagwaterproblematiek langs een rivier zoals de Dender.

Impactanalyse van klimaatverandering

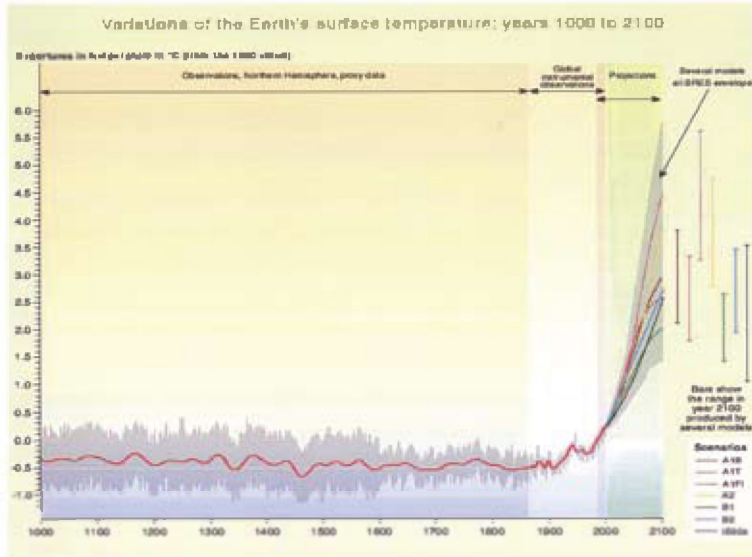
We bespreken hier achtereenvolgens de deelaspecten van dergelijke methodologie, de verschillende klimaatmodellen en beschikbare methoden, en ten slotte de methode die we selecteerden voor deze studie.

Deelaspecten

Voor het kwantificeren van de impact van klimaatverandering op het hydrologisch systeem dient men verschillende fysische componenten, variabelen en deelaspecten in rekening te brengen, zoals weergegeven in *figuur 2*. Het klimaatsysteem en het hydrologisch systeem dienen gezamenlijk gemodelleerd te worden, alsook hun interacties. Het klimaatsysteem bestaat hierbij uit vijf belangrijke componenten: de atmosfeer, de hydrosfeer, de cryosfeer, de landoppervlakte en de biosfeer. Een groot aantal interacties vinden plaats tussen deze individuele componenten en er bestaan heel wat externe invloedsfactoren wat de fysische modellering van het klimaat - en zeker de klimaatverandering - bijzonder moeilijk maakt. Dit wordt later ook duidelijk op basis van de grote verschillen tussen de resultaten van de verschillende klimaatmodellen.

De onzekerheden in de modellering en voorspelling van klimaatverandering zijn dus bijzonder groot.

Door een relatief kleine wijziging aan te brengen aan één component van het klimaatstelsel, kan het stelsel zich in zijn geheel sterk wijzigen. Onzekere wijzigingen in de samenstelling van de atmosfeer, door gewijzigde emissies van broeikasgassen, leidt tot een onzekere verandering van het klimaatstelsel en dus ook van de impact op hydrologische extremen.



Figuur 1: Historische en toekomstig voorspelde variaties in de wereld gemiddelde oppervlaktetemperatuur [IPCC, 2001].

Verschiede klimaatmodellen

Voor de fysisch gebaseerde modellering van het klimaatstelsel bestaan er een groot aantal klimaatmodellen. Zij modelleren als uitvoer klimatologische variabelen zoals luchttemperatuur, luchtvochtigheid, neerslag, zonnestraling, windsnelheid, enz. Bepaalde van deze klimatologische variabelen kunnen gebruikt worden als rechtstreekse invoer of voor de berekening van de invoer voor de modellering van het hydrologisch systeem, zoals de neerslag en de potentiële evapotranspiratie (ET_o). Modellen voor het hydrologisch systeem voorspellen verder de hydrologische uitvoervariabelen zoals debieten en waterhoogten.

Zowel de klimaatmodellen als de hydrologische modellen kunnen opereren onder verschillende tijd- en ruimteschalen. De standaard schalen van de klimaatmodellen zijn hierbij typisch groter dan deze voor de hydrologische modellen, wat een schaling van de klimatologische variabelen naar de hydrologische modelinvoervariabelen noodzaakt. Dit is de zogenaamde "downscaling" (zie de "interface" tussen de klimaatmodellen en de hydrologische modellen in *figuur 2*).

Verder kan men twee wegen bewandelen bij het inschatten van de invloed van klimaatverandering; via:

- fysisch gebaseerde modellen
- empirische trendanalyse.

Men kan inderdaad de invloed van de gewijzigde broeikasgasemissies op de klimatologische variabelen doorrekenen via de fysisch gebaseerde klimaatmodellen of

men kan trachten om deze invloed empirisch te achterhalen op basis van een statistische analyse van trends of tijdsevoluties in de beschikbare langetermijn historische meetreeksen. Dit is toepasbaar voor tijdreeksen bij de klimatologische variabelen, de hydrologische modelinvoervariabelen (neerslag en ET_o) en/of de hydrologische modeluitvoervariabelen (waterhoogten en debieten langs de rivier). In de voorgestelde studie wordt een combinatie van beide methoden gebruikt, die tevens toelaat om de consistentie van de voorspellingen op basis van de fysisch-gebaseerde modellen met de empirisch bepaalde trends te controleren (zie de "feedback" in *figuur 2*).

Beschikbare methoden

Voor het inrekenen van elk van de deelaspecten voorgesteld in *figuur 2* zijn verschillende methoden beschikbaar. Wat de modellering van het klimaatstelsel betreft bestaan er twee soorten klimaatmodellen:

- de **GCM's** ("General Circulation Models" of "Global Climate Models"): dit zijn mondiale klimaatmodellen, die grofschalig zijn in tijd en ruimte. Ze leveren seizoensgemiddelde of maandresultaten voor een raster met een grootteorde van 150 tot 300 km;
- de **RCM's** ("Regional Climate Models"): deze regionale klimaatmodellen zijn kleinschaliger en geven dagresultaten op een 25 tot 60 km raster.

Voor de simulatie van de toekomstige evoluties in de uitstoot van broeikasgassen en stofdeeltjes zijn aannames gemaakt over de verdere ontwikkeling van de wereldbevolking, de economie en de techniek in de 21^e eeuw (de zogenaamde wereldbeelden).

Figuur 2: Schematisch overzicht van de verschillende deelmodellen en deelaspecten betrokken bij de hydrologische impactanalyse van klimaatverandering.

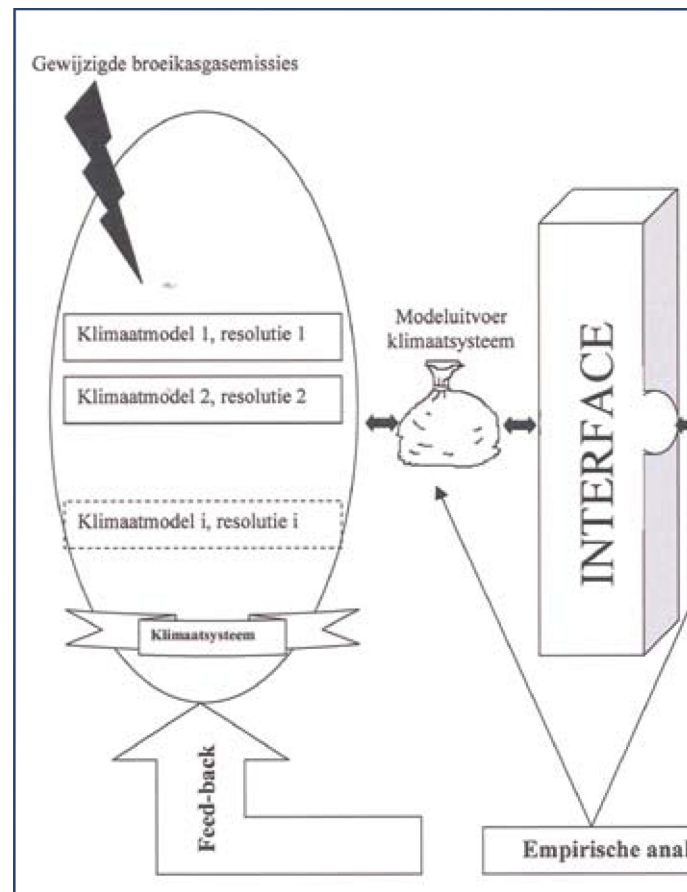




Foto 2: Laagwaterstand langs de Maas.

Broeikasgasemissiescenario's

Door het Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC, 2001) zijn hierbij vier wereldbeelden en overeenkomstige broeikasgasemissiescenario's vooropgesteld:

- A1: mondiale markt;
- A2: veilig scenario;
- B1: mondiale solidariteit;
- B2: zorgzaam scenario.

De scenario's 1 (A1 en B1) gaan uit van een verdere mondialisering van de wereldbevolking en –economie, met een bevolkingsgroei die piekt in het midden van de 21^e eeuw en daarna daalt, samen met snelle economische veranderingen en een sterke evolutie naar een diensten- en informatie-economie. De scenario's 2 (A2 en B2) veronderstellen daarentegen een evolutie naar een meer lokaal georiënteerde wereldbevolking en –economie, met meer

gefragmenteerde technologische evoluties.

Het verschil tussen de scenario's 1 en 2 heeft dus in hoofdzaak te maken met het verschil tussen de evolutie naar een meer mondiale wereld of naar een meer regionaal georiënteerde wereld. Het verschil tussen de scenario's A en B heeft anderzijds te maken met de graad van milieuduurzaamheid in de verdere evolutie van de wereld. Bij de scenario's B gaat men uit van een evolutie die maximaal rekening houdt met de interacties tussen economie, sociale aspecten en de impact op het milieu, en die uitgaat van een algemene vermindering in het gebruik van materialen en de introductie van propere en duurzamere technologieën. De scenario's A gaan uit van een verdere economische groei met tragere technologische vernieuwingen.

Als gevolg hiervan kunnen de concentraties van de broeikasgassen in de atmosfeer verder blijven toenemen tot het jaar 2100 met in het meest pessimistisch scenario een verdrievoudiging van de CO₂-uitstoot. Een ander scenario is dat deze eerst toenemen tot het midden van de volgende eeuw en daarna opnieuw dalen. De meeste eerder uitgevoerde internationale impactstudies rond klimaatverandering gaan uit van het A2-scenario, wat eerder een bovengrens geeft van de potentiële impact.

Schalingsmethoden

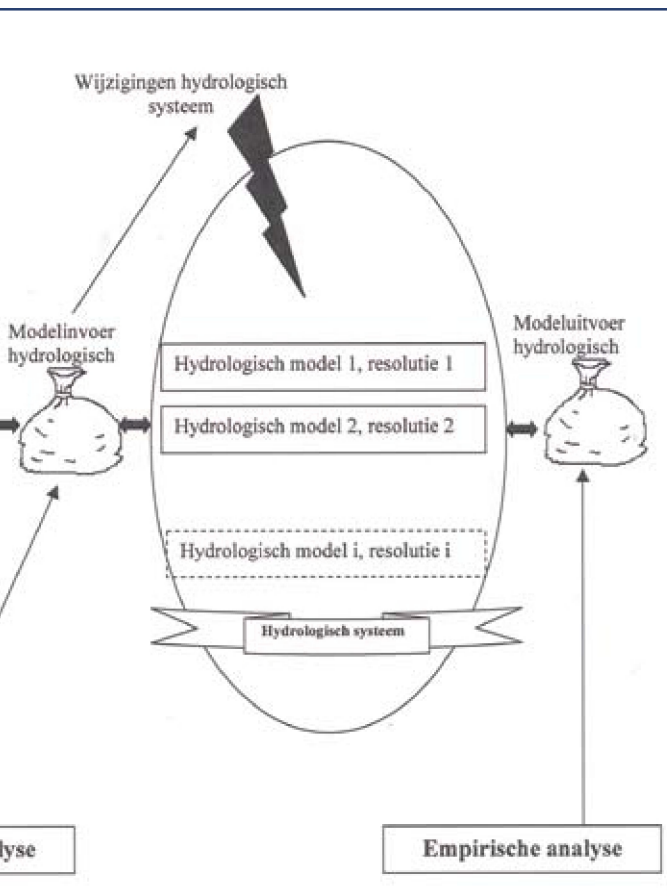
Verder zijn er verschillende soorten schalingsmethoden:

- Dynamische schaling vanuit GCM's gebruik makend van RCM's;
- Statistische of empirische schaling, waarbij empirische of statistische verbanden worden gebruikt tussen de klimatologische variabelen en de hydrologische modelinvoervariabelen, bv. op basis van regressietechnieken en stochastische methoden.

Geselecteerde methode

In de voorgestelde studie zijn simulatieresultaten met klimaatmodellen voor België gebruikt, zoals afgeleid in het kader van het Europese onderzoeksproject PRUDENCE ("Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects"). Het betreft een combinatie van een fysisch gebaseerde methode voor het modelleren van de klimaatveranderingsscenario's op basis van mondiale klimaatmodellen (GCM's) en regionale klimaatmodellen (RCM's), waardoor gelijktijdig een dynamische schaling wordt doorgevoerd. Dagwaarden zijn gegenereerd op een ruimtelijke rasterschaal van 24 km tot 59 km.

Verdere schaling naar de ruimtelijke schaal van een hydrografisch rivierbekken en naar de uurlijkse tijdschaal die nodig is voor hydrologische impactanalyse is daarna statistisch doorgevoerd (figuur 3). De meest eenvoudige methode hierbij, die in haast alle voorgaande internationale studies rond hydrologische impactanalyse van klimaatverandering is toegepast, is de veronderstelling dat het procentueel verschil in de waarde van de hydrologische modelinvoervariabele voor de kleine schaal ten gevolge van klimaatverandering nagenoeg overeenstemt met het verschil voor de grote schaal. Deze veronderstelling is onderzocht in de studie, en blijkt geldig indien men de impact onderzoekt op overstromings- en laagwaterisico's langs de grotere rivieren. Voor de beken en rioleringen dient men een meer complexe statistische downscalingsmethode uit te werken.



Klimaatveranderingsscenario's voor Vlaanderen

De resultaten van de RCM's gesimuleerd in het PRUDENCE project zijn geanalyseerd voor 10 verschillende RCM's, voor verschillende broeikasgasemissiescenario's (vooral A2 en B2) en bij verschillende initiële condities voor de modellen (ook "ensemble-members" genoemd). Voor elk van de simulaties zijn door het KMI modelresultaten afgeleid voor neerslag en potentiële evapotranspiratie (ETo) voor de locatie dichtst bij Ukkel. De afgeleide simulatie resultaten worden hierna "klimaatveranderingsscenario's" genoemd. In het totaal zijn 24 scenario's bepaald.

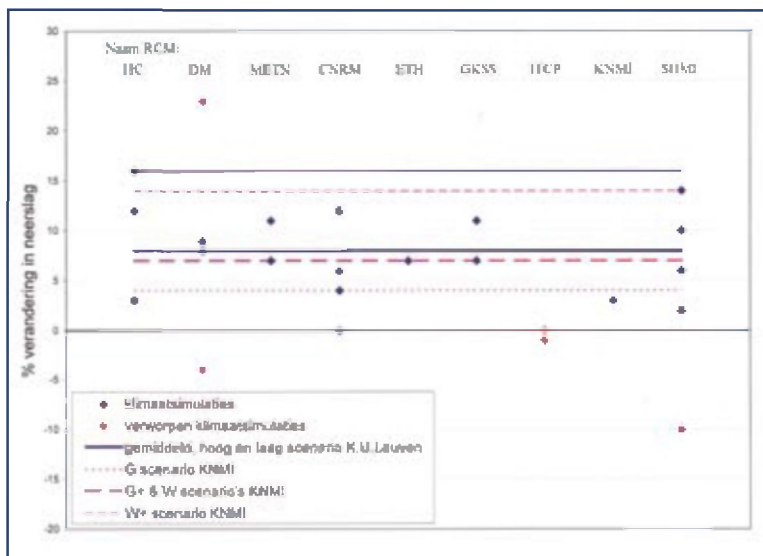
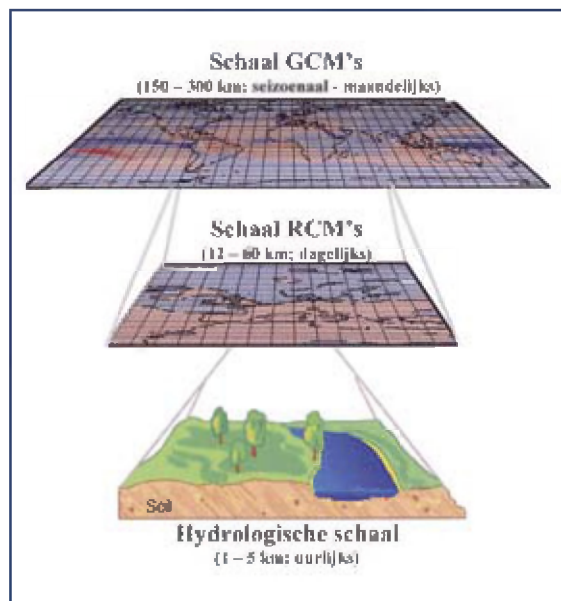
Toename in winterneerslag

In *figuur 4* is voor deze scenario's de relatieve toename in de winterneerslag weergegeven van de huidige klimaatcondities tot deze in het jaar 2100. Het is in de

figuur duidelijk dat de verwachte neerslagtoename sterk afhankelijk is van het gekozen klimaatmodel, simulatie en scenario. De onzekerheid op de potentiële klimaatveranderingsscenario's is dus bijzonder groot, wat ook de hydrologische impactanalyse van klimaatverandering zeer onzeker maakt. De vraag stelt zich of deze onzekerheid verder gereduceerd kan worden door bepaalde klimaatsimulaties via statistische analyse te verwerpen. Een mogelijke methode bestaat erin om via een statistische hypothesetoetsing de consistentie te controleren van de simulatie resultaten met de klimaatmodellen voor de referentieperiode met de historische waarnemingen te Ukkel. Probleem hierbij is evenwel dat een grote afwijking met de historische neerslag niet noodzakelijk impliceert dat ook de voorspelde effecten van klimaatverandering onnauwkeurig zijn. Daarom is de vergelijking met de Ukkel-neerslag enkel doorgevoerd voor de simulaties met de klimaatmodellen waarvoor zeer hoge of zeer lage neerslag of ETo-veranderingen worden gevonden (dus voor de scenario's die sterk afwijken van de andere scenario's). In *figuur 4* zijn de scenario's die in aanmerking komen voor potentiële verwerping aangeduid. Aangezien voor al deze RCM-simulaties in de referentieperiode 1961 – 1990 sterk afwijkende resultaten met de historische Ukkel-neerslag worden gevonden, zijn zij allen verworpen.

Tabel 1 beschrijft voor het % neerslag- en ETo-verandering in winter en zomer de gemiddelde waarden, de ondergrenzen en de bovengrenzen, na weglating van de verworpen scenario's. De ondergrens- en bovengrenswaarden zijn uiteraard niet als absolute onder- en bovengrenzen te beschouwen. Ook kunnen wij er voorlopig geen kansen mee associëren. Zij dienen beschouwd te worden als 'lage' en 'hoge' scenario's, die een aanduiding geven van de onzekerheid die betrokken is in de inschatting van de impact van klimaatverandering. De gemiddelde, ondergrens- en bovengrenswaarden worden daarom hierna het midden, laag en hoog klimaatveranderingsscenario genoemd (*zie ook figuur 4*).

Figuur 3: "Down-scaling" van tijd- en ruimteschalen via dynamische schaling (van mondiale naar regionale klimaatmodellen) en statistische schaling naar de kleine hydrologische schalen.



Figuur 4: Percentage verandering in winterneerslag volgens het midden, laag en hoog klimaatveranderingsscenario, en vergelijking met de KNMI-2006 scenario's.

In *figuur 4* is een vergelijking gemaakt tussen onze scenario's en de nieuwe klimaatveranderingsscenario's die recent zijn voorgesteld in Nederland door het KNMI [3]. Het KNMI heeft een gemiddelde en een hoog scenario, overeenkomstig de veronderstelling van een gemiddelde temperatuurstijging met 1°C (het zogenaamde scenario G: gematigd scenario) of 2°C (het scenario W: warm scenario). Verder hebben zij bij het simuleren van de klimaatmodellen twee opties verondersteld: een sterke en een minder sterke verandering in de atmosferische circulatie. De zogenaamde scenario's G+ en W+ veronderstellen een sterke verandering. Beide opties blijken immers zeer grote verschillen in resultaten te geven, vooral m.b.t. de zomerneerslag. Veranderingen in de atmosferische circulatie geeft minder zomerbuien, maar meer buien vanuit oostelijke richting, en bijgevolg gemiddeld lagere neerslagvolumes in de zomer. Voor de winter zijn de verschillen met onze scenario's evenwel klein; de neerslagtoename is van dezelfde grootteorde: 0% tot 15% toename in de winterneerslag, met een gemiddelde schatting van 7 of 8%.

Variabele	Seizoen	Laag scenario	Midden scenario	Hoog scenario
Neerslagverandering	Winter	0% toename	8% toename	16% toename
	Zomer	20% afname	13% afname	6% afname
ETo-verandering	Winter	27% toename	17% toename	6% toename
	Zomer	25% toename	15% toename	4% toename

Tabel 1: Gemiddelde en boven- en ondergrenzen van het % neerslag- en ETo-verandering, na verwerping meest inconsistente klimaatsimulaties.

Besluit

De klimaatveranderingsscenario's zoals hierboven voor Vlaanderen afgeleid kunnen gebruikt worden voor het kwantificeren van de impact van klimaatverandering op hydrologische condities zoals overstromingskansen en -risico's en de kansen op kritieke laagwatercondities langs onze Vlaamse rivieren. Dit wordt in het *kaderstuk* geïllustreerd voor het Denderbekken (zie pdf van de uitgebreide versie van dit artikel op www.hetingenieursblad.be).

Door het midden, laag en hoog scenario door te rekenen en de resultaten te vergelijken wordt een indicatie verkregen van de onzekerheid in de hydrologische impactresultaten t.g.v. de onzekerheden in de huidige inschatting van de toekomstige evolutie van het klimaat. De onzekerheid kan evenwel nog groter zijn, bv. indien de klimaatmodellen een aantal fysische processen die essentieel zijn voor het voorspellen van de langetermijn trends en eventuele trendbreuken in het klimaat niet bevatten door beperkingen in de huidige wetenschappelijke kennis over het klimaat. Zoals door Kroonenberg is aangetoond voor het voorbeeld van de Kaspische Zee, blijkt het immers zeer moeilijk om trendbreuken in hydrometeorologische trends te voorspellen^[4].

De huidig afgeleide klimaatveranderingsscenario's zijn gebaseerd op de Ukkel-neerslag. In Vlaanderen komen evenwel ruimtelijke variaties voor (bv. lagere neerslagvolumes aan de kust). In de vervolgstudie gaan we nog verder na of de neerslagveranderingen regionale verschillen vertonen voor Vlaanderen. We onderzoeken ook of de verandering in extreme neerslagen ETo-condities verschillen van de seizoensgemiddelde veranderingen, zoals in deze studie gebruikt, en hoe de impactanalyse overeenkomstig kan worden verfijnd. De studie zal eveneens de hydrologische impact voor een groot aantal rivieren doorrekenen, ruimtelijke verschillen analyseren en de impact op het overstromingsgevaar langs rioleringen bestuderen.

Referenties

1. Boukhris, O.F., Willems, P., Berlamont, J., 2006. "Methode voor het inrekenen van de klimaatverandering in de compositiehydrogrammethode", Rapport door Hydraulica K.U.Leuven in opdracht van de Vlaamse Overheid - Departement Mobiliteit en Openbare Werken Afdeling - Waterbouwkundig Laboratorium, i.s.m. IMDC, Bestek nr. 16EB/02/19, eindrapport november 2006.
2. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2001. "Third Assessment Report (TAR)", 2001.
3. KNMI, 2006. "Klimaat in de 21ste eeuw: vier scenario's voor Nederland", Koninklijk Meteorologisch Instituut, De Bilt, Nederland.
4. Kroonenberg S., 2006. "De menselijke maat – De aarde over tienduizend jaar", Uitgeverij Atlas, Amsterdam/Antwerpen.
5. Rombauts, S., Willems, P., 2004. "Inventarisatie, Opmaak van numerieke hydrologische modellen en opstellen van compositiehydrogrammen voor het Denderbekken", Rapport door Afdeling Hydraulica K.U.Leuven in opdracht van AWZ - Afdeling waterbouwkundig laboratorium en hydrologisch onderzoek, i.s.m. IMDC, Bestek nr. 16EB/02/19, 5 deelrapporten, april 2004.
6. Willems, P., Qvick, A., Vaes, G., Berlamont, J., Christiaens, K., Feyen, J., 2000. "Algemene methodologie voor het modelleren van de waterafvoer in bevaarbare waterlopen in Vlaanderen", Rapport door K.U.Leuven in opdracht van AWZ – Afdeling waterbouwkundig laboratorium en hydrologisch onderzoek, april 2000.

De auteurs

Patrick WILLEMS is burgerlijk bouwkundig ingenieur en doctor in de ingenieurswetenschappen. Hij is momenteel postdoctoraal onderzoeker voor het Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek Vlaanderen en gastdocent aan de K.U.Leuven. Hij voert onderzoek uit naar de mathematische modellering van waterlopen en de statistische analyse van hydrologische extremen.

E-mail: patrick.willems@bwk.kuleuven.be

Omar BOUKHRIS is burgerlijk bouwkundig ingenieur en doctorandus aan de K.U.Leuven. Hij voert sinds einde 2005 het onderzoek uit naar de hydrologische impact van klimaatverandering op hydrologische extremen.

E-mail: omar.elfarouk@student.kuleuven.be

Jean BERLAMONT is burgerlijk bouwkundig ingenieur, doctor in de Ingenieurswetenschappen en gewoon hoogleraar aan de K.U.Leuven. Hij coördineert als afdelingshoofd van de Afdeling Hydraulica het wetenschappelijk onderzoek m.b.t. de hydrologie en hydraulica van rioleringen en waterlopen, en van kusten en estuaria.

E-mail: jean.berlamont@bwk.kuleuven.be

Katrien VAN EERDENBRUGH is burgerlijk bouwkundig ingenieur en Peter VIAENE bio-ingenieur bij het Waterbouwkundig Laboratorium van de Vlaamse Overheid. Zij coördineren modellerings- en onderzoeksactiviteiten m.b.t. waterbeheersing langs de Vlaamse bevaarbare waterlopen.

E-mail: katrien.vaneerdenbrugh@mow.vlaanderen.be

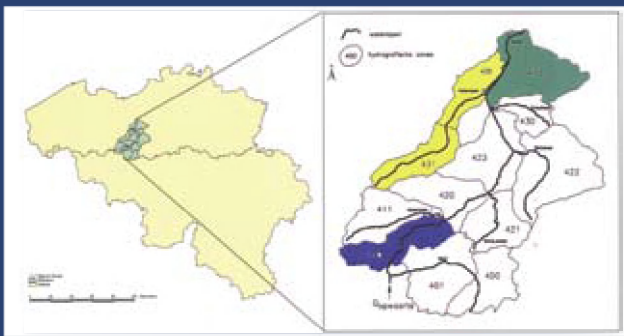
Joris BLANCKAERT is burgerlijk bouwkundig ingenieur bij studie bureau IMDC. Hij voert projecten uit m.b.t. de mathematische modellering van rivieren en de bijhorende statistische analyse.

E-mail: joris.blancaert@imdc.be

Hydrologische impactanalyse voor de Dender

Voor het analyseren van de impact van de klimaatveranderingsscenario's op hydrologische extremen langs onze waterlopen, is de Dender als testcase beschouwd. Hierbij zijn de hydrologische en hydrodynamische modellen gebruikt die in het verleden zijn opgebouwd door de Afdeling Hydraulica van de K.U.Leuven in opdracht van de Vlaamse Overheid.

Door Rombauts & Willems^[5] zijn hydrologische modellen afgeijkt voor elk van de 12 deelbekkens in het Denderbekken (zie figuur 5) en zijn voorkomingskansen bepaald van kritieke hoogwater- en laagwaterdebieten, conform de modelleringsmethodologie zoals toegepast bij het Waterbouwkundig Laboratorium van de Vlaamse Overheid^[6].



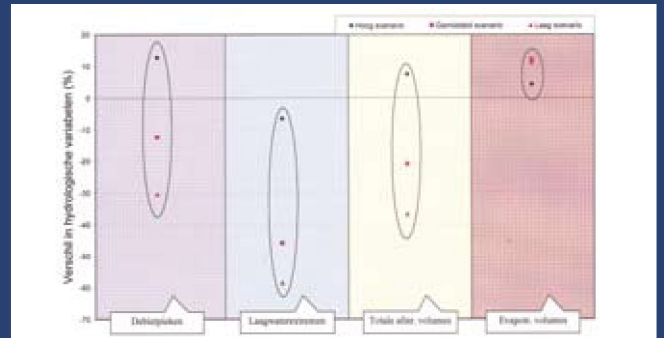
Figuur 5: De drie geselecteerde deelbekkens in het Denderbekken.

Om de impact van klimaatverandering door te rekenen, zijn het midden, laag en hoog scenario toegepast op de uurlijkse neerslag en potentiële evapotranspiratie (ET_o). De methode is toegepast voor drie deelbekkens met variërende gebiedseigenschappen (figuur 5). Het deelbekken van de Molenbeek langs Geraardsbergen (zone 410 in de Vlaamse Hydrografische Atlas (VHA)) is een stedelijk deelbekken met beperkte ruimtelijke topografische variaties en een leem ondergrond. VHA-zone 433 van de Vondelbeek langs Opwijk heeft de meest vlakke topografie, en omvat gedeelten van de steden Aalst en Dendermonde. VHA-zones 431 en 432 van de Molenbeek langs Erpe-Mere beslaan een landelijk gebied met een ruime landbouwoppervlakte en een relatief steile topografie.

Door vergelijking van de impactresultaten voor deze drie deelbekkens, wordt een indicatie bekomen van de ruimtelijke variaties in de impactresultaten ten gevolge van ruimtelijke verschillen in gebiedseigenschappen zoals topografie en landgebruik. Voor de drie deelbekkens is de impact van klimaatverandering doorgerekend tot het jaar 2100.

De effecten op de piekafvoeren zijn geanalyseerd versus de gemiddelde herhalingsperiode (vb. de piekafvoeren die gemiddeld eenmaal per 10 jaar, 50 jaar, 100 jaar, enz. voorkomen). Ook is de impact bestudeerd voor de uurlijkse laagwaterextremen, de cumulatieve neerslagafstromingsvolumes, de infiltratie- en percolatievolumes, de cumulatieve volumes en piekdebieten voor de oppervlakte-afstroming en grondwaterafstroming, de werkelijke evapotranspiratievolumes, enz. Voor vier van deze variabelen zijn

in figuur 6 het gemiddeld percentage wijziging weergegeven van het huidige klimaat naar het verwachte klimaat in 2100, volgens het midden, laag en hoog klimaatveranderingsscenario.



Figuur 6: Gemiddeld percentage verschil in hydrologische impact op basis van vier hydrologische modelvariabelen voor deelbekkens 410 en het midden, laag en hoog scenario (klimaat 2100).

Door de sterke daling in de zomerneerslag en de toename in de verdamping, kunnen de neerslagafstromingsvolumes aanzienlijk dalen. Tijdens droge zomers kunnen de laagste grondwaterafstromingen naar de rivier met meer dan 50% dalen. Het is duidelijk dat dit de kans op watertekorten aanzienlijk kan doen toenemen, wat nadelige gevolgen kan hebben voor de drinkwaterproductie, de diepgang voor de scheepvaart, voor de waterkwaliteit, de ecologische condities, enz.

De toename van de kans op overstromingen, die vaak met klimaatverandering wordt geassocieerd, blijkt uit de resultaten minder duidelijk. Het teken van de trend op de piekafvoeren blijkt afhankelijk van het relatieve belang van de toename in de winterneerslag versus de afname in de zomerneerslag, en van het relatieve belang van de trends in de neerslag versus de toename in de evapotranspiratie (figuur 7). Dit relatieve belang blijkt sterk te wijzigen van klimaatsimulatie tot klimaatsimulatie. Piekafvoeren in een rivier zoals de Dender nemen in het meest extreme scenario met niet meer dan 15% toe.



Figuur 7: De impact van klimaatverandering op het overstromingsrisico kan zowel positief als negatief zijn, afhankelijk van hoe het effect van de toename in de winterneerslag zich verhoudt tot het effect van de afname in de zomerneerslag, en van hoe het effect van de neerslagtoename zich verhoudt tot het effect van de ETo-toename.

Het is uit de resultaten duidelijk dat de droogteproblematiek in de toekomst zal toenemen, in grotere mate dan dit voor de overstromingsproblematiek het geval zal zijn. Het ECC-klimaatmodel van het Deens

Meteorologisch Instituut (DMI) voorspelt voor het A2 broeikasgasescenario de grootste impact op de neerslagafstromingsvolumes. Dalingen tot 75% worden teruggevonden voor de cumulatieve neerslagafstromingsvolumes in deelbekkens 431, 432 en 433. Dit wordt veroorzaakt door de grote ETo-perturbaties van +35% in de winter en +40% in de zomer voor dit model. In vergelijking met de andere klimaatmodellen voorspellen de simulaties met het klimaatmodel van het Britse Hadley Center meer gematigde variaties in neerslagafstromingsvolume, maar toch nog oplopend tot een daling van 20%. Wat de invloeden op de hydrologische modelvariabelen betreft, blijkt dat de invloed op de piekdebieten en de andere hydrologische variabelen het grootst is voor deelbekken 433, door de hoge verstedelijkingsgraad van dit deelbekken (meer verharding). Resultaten zijn dus in ieder geval sterk afhankelijk van gebiedseigenschappen en dus ruimtelijk sterk variabel.

De studie geeft nieuwe inzichten in de effecten van toekomstige klimaatverandering. Het is duidelijk dat bij toekomstige ontwerpen en/of maatregelen voor waterbeheer best rekening wordt gehouden met de invloed van mogelijke klimaatverandering. De onzekerheden, zoals weerspiegelt in de verschillen van de resultaten bij het midden, laag en hoog klimaatveranderingsscenario, zijn evenwel nog zeer groot. Daarom moeten de evoluties van het klimaat de volgende jaren verder nauwgezet opgevolgd worden, en wordt bij nieuwe projecten voor waterbeheersing best rekening gehouden met de mogelijkheid om preventieve maatregelen te nemen. Vooral de verwachte problematische waterbeschikbaarheid in de zomer vraagt verdere aandacht.

Terminologie

Evapotranspiratie: Combinatie van evaporatie (=verdamping) en transpiratie (vochtverlies aan de atmosfeer) aan de oppervlakte ten gevolge van vrije wateroppervlakken, begroeiing en vocht in de bovenste grondlaag. De potentiële evapotranspiratie is de maximaal mogelijke evapotranspiratie bij een welbepaalde luchttemperatuur, luchtvochtigheid, zonnestraling, windsnelheid, enz. voor een referentievegetatie (kort gras). De werkelijke evapotranspiratie is lager; ze is beperkt door de beschikbaarheid van water in de ondergrond.

Neerslagafstroming: Afstroming van hemelwater langs de oppervlakte en langs de ondergrond naar de waterloop.

Klimaatmodel: Model dat de fysische processen in de atmosfeer beschrijft, alsook de interacties met de andere componenten van het klimaatsysteem zoals de oceanen en de landoppervlakte.

Infiltratie: Indringing in de ondergrond van afstromend hemelwater aan de oppervlakte.

Percolatie: Doordringing van bodemvocht naar het grondwater.

Piekafvoer: Het hoogste debiet in de waterloop tijdens een periode van hoge neerslagafstroming.