

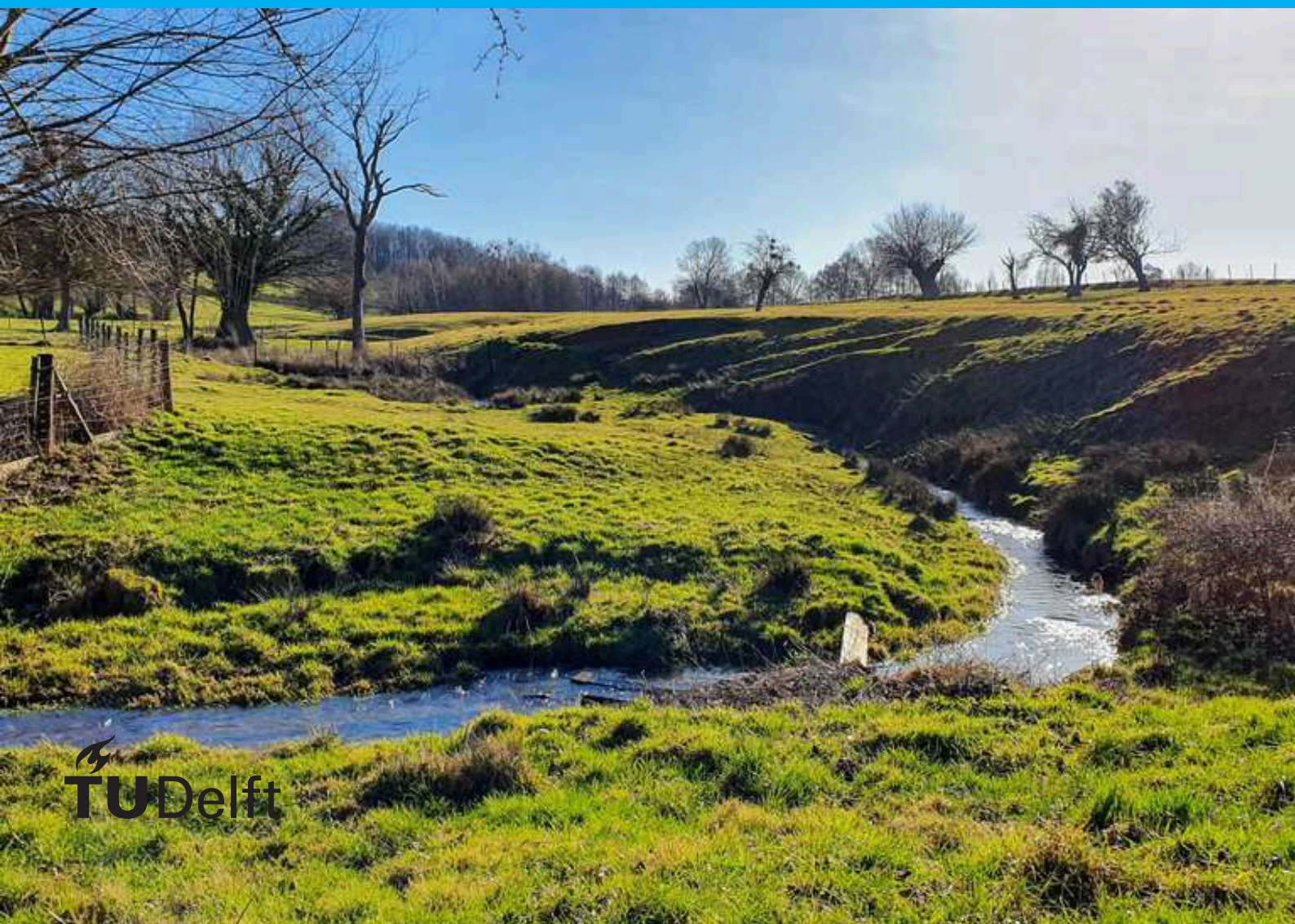
Internship Report

WSP Nederland

J. Frunt

Flood wave attenuation in South Limburg

Hydrological study into the dynamic implementation of a rainwater buffer along the Mechelderbeek



Internship Report

WSP Nederland

by

J. Frunt

to obtain 10 ECTS for the course CIE4040-09
within the Master of Science program Water Management
at the Delft University of Technology,
faculty of Civil Engineering and Geoscience.

Student number: 5178908
Internship duration: February 7, 2022 – April 1, 2022
Company supervisor: M. van Dieren, WSP Nederland
University supervisor: Prof. dr. ir. R. Uijlenhoet, TU Delft

Contents

1	Introduction	1
2	Company reflection	3
2.1	Organisation	3
2.2	Project management	4
2.3	Strengths and weaknesses	5
2.4	Contribution	6
3	Personal reflection	7
3.1	Hard skills	7
3.2	Soft skills	8
4	Technical report	11
4.1	Introduction	11
4.2	Project description	11
4.2.1	Facts	12
4.2.2	Internship	12
4.3	Achieved results	13
5	Conclusion	15

1

Introduction

To obtain a Master of Science degree in Civil Engineering at the TU Delft, I, Jesse Frunt, chose to include an internship in my study program. The aim of the internship is to familiarize the student with how a professional organisation operates with its clients and other organisations and for him to demonstrate the ability to work in a professional organisation at an academic level. In addition to regular courses, I liked to expand my knowledge by examining and applying my water expertise in practice. Next to that, I wanted to experience what it is like to work for a commercial company and to know where I could end up after graduating.

The search for a suitable internship company started in the spring of 2021, when I got inaugurated as water ambassador. From this moment I started orientating at what kind of company I would see myself working in the future. I did this by exchanging experiences with other students, attending lunch lectures organised by the disputes of the faculty and participating in in-house days of multiple companies. It quickly became clear to me that I wanted to work for an engineering company.

After having sent job application letters to several companies and over and over being turned down because of the short duration of the internship, I contacted Eric van den Broek, at the time CEO of WSP Nederland. This company provides management and consultancy services to the built and natural environment across the world. Eric went along with my enthusiasm and saw potential in a mutual collaboration. I ended up with Maarten van Dieren, project leader water management at WSP. Within the department Water & Omgeving I got assigned to an assignment that would contribute to a large-scale project commissioned by the Limburg water board.

This report reflects on the company I worked for, my personal and professional learning objectives and the technical activities carried out.

2

Company reflection

WSP is an international engineering company providing management and consultancy services to the built and natural environment. With over 47.000 employees, WSP is one of the world's leading engineering professional services firms. WSP provides strategic advisory, engineering and design services to clients in the Transportation & Infrastructure, Earth & Environment, Property & Buildings, Power & Energy, Resources, and Industry sectors. Next to that, with its worldwide Future Ready sustainability and innovation program, WSP fulfills the need and social desire to design the living environment in a future-proof and innovative way. WSP's global experts include advisors, engineers, environmental specialists, scientists, technicians, architects and planners, in addition to other design and program management professionals.



Figure 2.1: WSP logo

Around 500 people are working for the company in the Netherlands. In the years past, several specialized companies have joint forces, collaborated and merged together. Since very recently, 2021, these companies unite under the name of WSP Nederland. WSP Nederland works from ten departments, each located at a specific location across the country. The collaboration between these departments is an important topic in future business operations.

With a total revenue of 47 million euros in 2020, WSP Nederland is one of the top Dutch engineering companies. In the list, which is headed by Arcadis, WSP Nederland is in 14th place. With its ambitions, WSP Nederland strives to reach the top 10 in the coming years.

2.1. Organisation

WSP Nederland is being directed from WSP Global's head office in Montréal, Canada. Alexandre L'Heureux is the President and Chief Executive Officer of the Corporation.

The formal organisation of WSP Nederland starts with a management. It consists of Eric van den Broek (general director), Robert Glebbeek (sector director Stad & Omgeving) and Tjerk Jonker (sector

director Water & Infra). The management team supports the heads of department. Next to their managing tasks, the three gentlemen are ultimately responsible for all activities within their sector. That's why they show up regularly at the office, have a chat with their people and show interest in you and your work.

The heads of department keeps clear overview of its projects and human capital. They have frequent contact with their employees and conduct performance reviews. Each project has its own project leader. This project leader keeps in touch with the client and ensures good quality of the project. He or she does this by communicating clearly with his colleagues and by making sure deadlines are met.

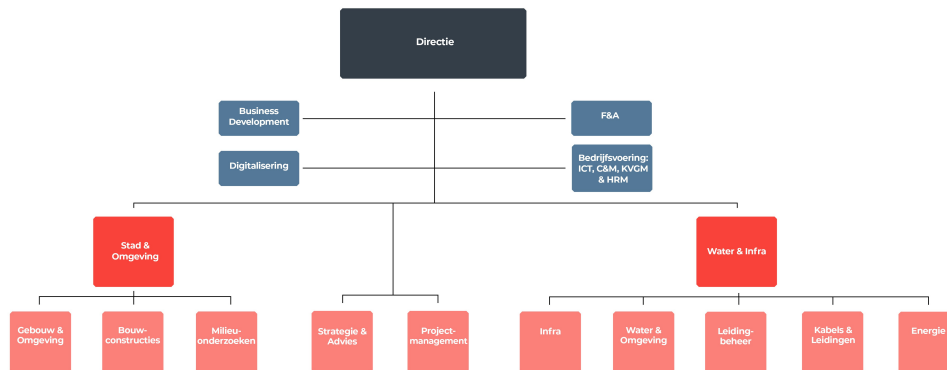


Figure 2.2: Organization chart WSP Nederland

The flat organisation of WSP Nederland offers an open and accessible working environment. For this, WSP Nederland preferably uses its round organization chart, as shown in figure 2.3, that has no top-down hierarchy. Despite the professional appearance of the company, the atmosphere within the offices is relaxed and easy-going. In the end, high quality services are delivered to the client.

2.2. Project management

WSP Nederland designs the spatial layout of the Dutch landscape. Its most important clients in the Netherlands are therefore Rijkswaterstaat, Dutch water boards, provinces and municipalities. The company operates in the private market, which means that it has to deal with competition from other engineering consultancies. Winning a project usually follows a procedure of registration on the inquiry, offering your service package to the client and presenting your project approach. In the end, depending on the scale of the project, one or more companies are designated to carry out the project.

The tender phase that follows involves a lot of negotiation. Once the contract is signed by both the client and the engineering company, the exploration phase starts. During this period, the company gains insights in the working of, in this case, a water system. ArcGIS is a commonly used software package for this purpose. Several options that can be the solution to the problem are explored. In communication with the client, one option is the preferred alternative. This solution is worked out in detail. Multiple departments of WSP Nederland can be involved in one project. The provisional design that follows is drawn and communicated with stakeholders. These stakeholders reflect on this design and the final design is made, taking their critical note into account.

Section 4.1.1. of this report elaborates on the design process that the rainwater buffer at the Vijlenstraat has gone through.

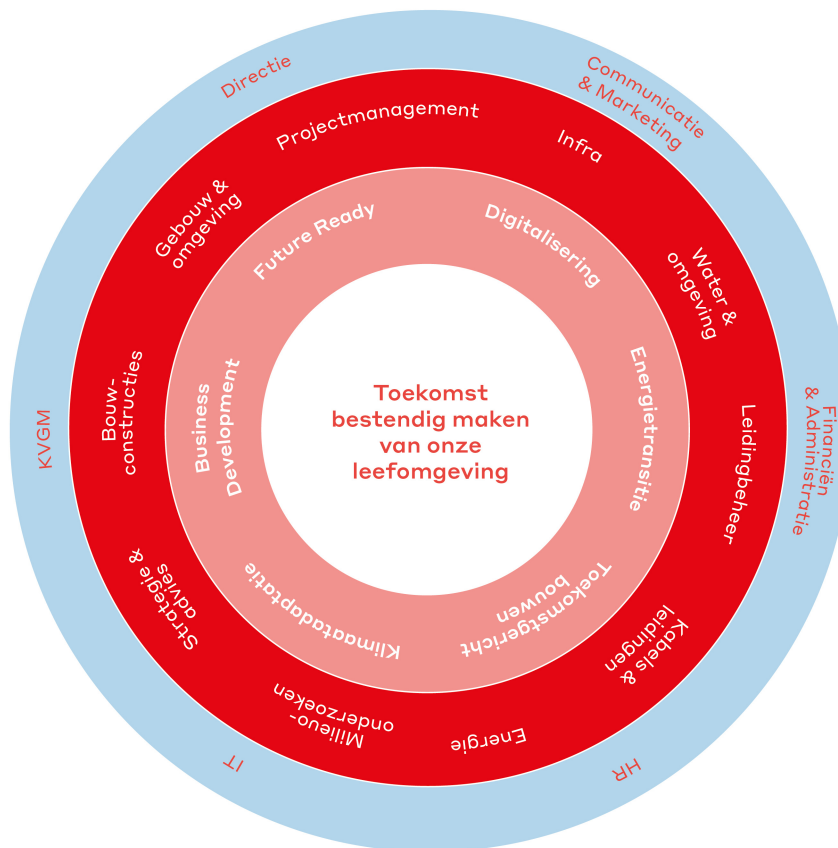


Figure 2.3: Round organization chart WSP Nederland

2.3. Strengths and weaknesses

WSP Nederland is a nationally recognized consultancy and engineering firm. One of its strengths is the interdisciplinary project approach which leads to integral solutions. Projects are approached from different points of view which gives a good overall picture of the challenge. This can only be achieved by collaborating departments. For example, ecologists support environmental management and hydraulic engineers work on hard structures within the water system.

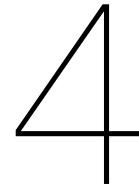
This in turn is also a point of improvement. Since the departments were established separately from each other as individual companies, certain practicalities such as digital systems differ from each other. In addition, the departments are located across the whole country which makes physical meetings between departments inefficient. The biggest advantage of working from multiple locations in the Netherlands is that local knowledge is almost always available from within the company. Not only local challenges are recognised, also the regional dialect is literally understood, which enhances support among local stakeholders

On the location I work, in Nieuwegein, the departments of Water & Omgeving and Ecologie are situated. Therefore, these two departments work together in a lot of projects. The department of Waterveiligheid, which is located in Breda, works together with my department since their projects require cooperation. Since the departments were established separately from each other as individual companies, certain practicalities such as digital systems differ from each other. A lot of effort is put into structuring the whole company in one uniform way.

2.4. Contribution

Within the department of Water & Omgeving on the location in Nieuwegein, engineers with a university background are the driving force of all projects. From acquisition until the final product, these professionals take the lead and make sure project ends in a success. However, the company would not be able to operate without more practically educated people. For example, the departments of HR and IT employ a lot of people with a background from a university of applied sciences and many drawers come from a Dutch HBO.

My role was to substantiate approaches, assumptions and simplifications on the basis of scientific literature. Since I have the knowledge where and how to search for certain sources, this increased the reliability of the tool we created. Furthermore, I contributed to considerations that have been made with my theoretical knowledge of water systems.



Technical report

This chapter of the Internship Report focuses on the technical activities carried out during the internship.

4.1. Introduction

The province of Limburg is, from a hydrological point of view, an extremely interesting area in The Netherlands. The catchment area of the Meuse river covers the entire province. The rain-fed river originates from the French highlands and enters the country near Eijsden. From here, the river course forms the boarder between Belgium and The Netherlands over a length of 47 kilometres. Just upstream of Roermond, the gravel river flows into the Maasplassen area after which it evolves into a terraced river with a sandy bottom. This part of the river forms the boarder between the provinces of Noord-Brabant and Limburg. Downstream of Cuijk, the Meuse is dominated by tidal influences and flows in the direction of the North Sea.

The South Limburg landscape is characterised by eroded valleys due to wear and tear of old Meuse courses. Over the years, the land has been pushed up and a hilly landscape has been formed. The subsoil in this area consists of ancient chalk and old gravel deposits mainly covered with loess, an aeolian deposit of silt. The fertile soil is very suitable for crops as potatoes, onions, beets, maize and wheat and is therefore largely used for agriculture. To prevent damage due to erosion from flowing water, farmers cultivate and plough their land perpendicular to contour lines. However, it is apparently more efficient in terms of fuel consumption to work the land in lines from top to bottom and back. Next to producing crops, grass is grown and especially on steeper sloping plots.

The combination of topography and geology in the area results in rapid concentration of rainwater. The clay-rich soil makes it hard for precipitation to infiltrate at a high rate. In addition, the sloping landscape stimulates runoff of rainwater. Expansion of the built-up surface and tilled land enhances the fast response within the catchment. The water collects at the bottom of the slopes in the lowest part of the catchment, where a lot of people live. There is not much room for the water to flow and with high discharges, water easily flows over its narrow banks.

4.2. Project description

Within the program of 'Water in Balans' of Water Board Limburg, several studies are being executed into measures to make the regional water system climate-proof and to have it comply with provincial standards. 'Verkenning Mechelderbeekdal' is one of these studies. The Mechelderbeek catchment area covers about 7 square kilometers and runs from the woods south of Vijlen to the outflow in the Geul near Mechelen. The explorations are broad in scope and have a lead time of several years. In addition to the broad exploration, several 'no regrets' measures have been identified that can be implemented in advance of the integrated plan. These measures are also referred to as 'snel aan de slag' (SADS). In this context, Water Board Limburg has reached out to WSP with an integral optimization issue regarding the implementation of a rainwater buffer at the Vijlenstraat, near Vijlen.

4.2.1. Facts

Water Board Limburg has set up the Water in Balans program to prioritise the implementation of measures that tackle flooding due to the changing climate. In the aftermath of the Limburg floods of July 2021, several measures that can quickly be implemented have been defined. These measures are focused on the resilient design of the regional water system and people's participation in limiting flood damage.

On November 11, 2021, Water Board Limburg contacted WSP with the request to prepare a quotation for drawing up the Waterwet project plan and specifying the SADS Vijlenstraat for the Mechelderbeekdal project. Some concrete ideas about the dimensions and design of the buffer already existed. However, the water board pointed to an integral optimisation issue where the sophisticated design would be adapted to the landscape, shared use, ground balance, etc. Within the project, the water board is responsible for the construction of the buffer and the municipality for directing the water. Accompanied to the request of Water Board Limburg was a preferred alternative for the design of the rainwater buffer. This design needed to be further optimized for, among other things, detailed connections, for example at in- and outflow and the connection to adjacent farmland, the strip along the water with the following functions: ecology, landscape and maintenance path; local optimization of the stream. When designing and optimizing the buffer itself, the following elements had to be optimised, among others: height and number of transverse dams in relation to the storage capacity, closed ground balance and landscape image. The dams should be designed to be floodable. Also included in this request was the option to elaborate and work out the intended measures at the Commandeurstraat and the Hoofdstraat.

In response to this request, WSP has offered their tender on the 22nd of December 2021. This document contains their plan of action to the project including the project organisation, the steps to be taken and all activities to be done, a preliminary planning, a price indication and additional conditions. The appendix elaborates on the internal estimate of the company's commitment and associated costs. Furthermore, an outline of the execution plan is added as appendix. Any (unforeseen) additional work and the elaboration of optional measures are also included in the invoice.

On the last day of 2021, December 31, WSP received formal agreement from the Water Board Limburg to their quotation and with that they won the project. It was stated in the commissioning that any additional work had to be quoted first and that specifying the other two intended SADS measures would not be part of this project but, if necessary, would be at a later stage.

The first results of the rainwater buffer design made by WSP Nederland were presented to local residents and other stakeholders on the 21st of May. People could give feedback and once again point out their interests in the project. Not only engineers of WSP were present, also the waterboard and municipality were around to elaborate on the design and to answer questions. This evening was well attended and at some moments, the concerns that some people had created a tense atmosphere. With the comments and remarks made that evening, the design went back to the drawing table.

One month later, on the 21st of April, the definitive design was again presented to people who had certain interests in the project. From this moment, no changes would be made in the design of the rainwater buffer. A detailed technical drawing would be made by the contractor as a reference during the construction of the buffer.

4.2.2. Internship

The buffer is to be designed for a rainfall event with a duration of two hours and a return period of 25 years. According to the extreme precipitation statistics of STOWA this relates to a total precipitation amount of 46.9 mm. The provincial environmental vision¹ states that a maximum flooding probability of 1:25 years is the standard for built-up areas along streams and in dry valleys in Heuvelland South Limburg. Depending on the cost-benefit analysis, spatial impact and opportunities to link up with other projects, this standard can be raised or lowered.

¹Waterbeheerprogramma 2022-2027, Waterschap Limburg

An agricultural plot of 1.2 ha has been purchased for the construction of a rain water retention basin with a storage capacity of 5000 m³. The layout of this buffer consists of several compartments, separated by floodable earth dams, which can be filled and emptied by means of small culverts. Sizing of the dams, culverts, in and outlet and other hydraulic structures is done using expert judgment and global rules of thumb. However, the static volume quantity of a rainwater buffer needs to be deployed in a dynamic environment of precipitation events and runoff waves.

The internship assignment concerns a study into the hydrological functioning of the rainwater buffer at the Vijlenstraat in relation to normative discharge waves in the Mechelderbeek and recommendations for measures to allow the buffer to function optimally in attenuating peak discharges. A GIS-driven model is used to evaluate the hydrologic response of the Mechelderbeek to extreme precipitation events. Based on this model, design parameters are changed to find the most optimal implementation of the retention basin after which the dimensions of the dams and culverts are calculated.

4.3. Achieved results

The final product for WSP is a written report. The report I wrote for WSP is added as a supplement to this TU Delft report.

5

Conclusion

Working full time for an engineering company is really a switch compared to studying and filling in your own time. Commuting between Delft and Nieuwegein and then working from 9 to 5 in the office behind a computer was, especially in the beginning of the internship, quite hard for me. I experienced a pleasant atmosphere in the office and had a good relationship with my colleagues. The past eight weeks really flew by. The change between several ongoing projects I would experience as very enjoyable. However, the work that is being done at an engineering company is extremely theoretically. I expected more interaction with the client or going into the actual field to collect data for the project.

That brings me to my future. Once again, I have really appreciated working for WSP Nederland and I am happy for the opportunity and the trust they have given me. Although, at this stage, I don't see myself working full time for an engineering company. Sitting the whole day behind a desk is not something I want to do when I have just graduated. Instead, I want to go outside, talk with stakeholders and see interventions we invent and design being constructed in the field. That's why I also tend to look for a graduation project at a contractor or construction company.

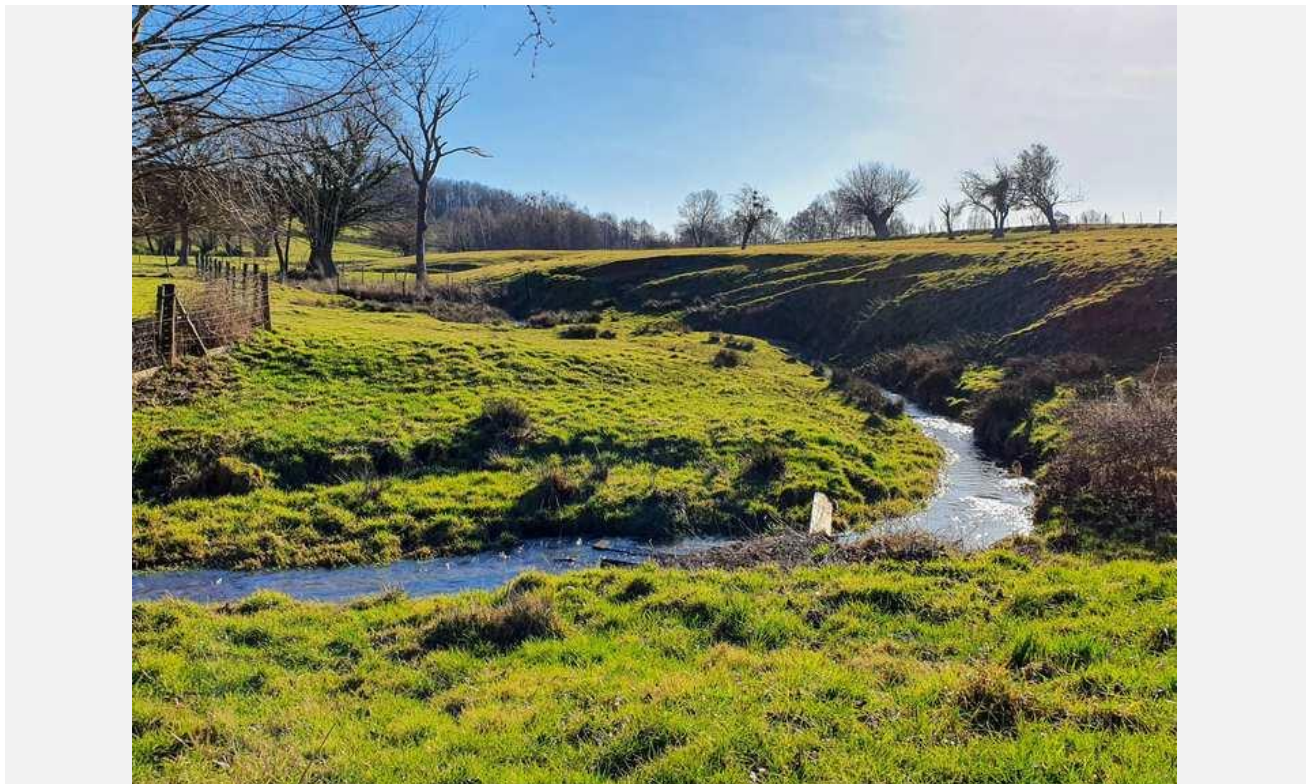
I want to thank the people I have worked with. First of all: Paul van der Wal, GIS specialist at WSP Nederland. Paul developed the tool I had been working on during my internship. Together, we had one continuous brainstorm session along the way to improve the reliability and efficiency of the tool. Paul helped me when I had troubles regarding ArcMap, the ins and outs of the company or who to contact for a specific question. It was really pleasant working with Paul as he gave critical feedback but at the same time a lot of confidence when appreciating my work. Secondly: Maarten van Dieren, project manager Water at WSP Nederland and my company supervisor. Maarten secured a smooth incorporation into the company and kept me updated about progress made in the Vijlenstraat project. Next to that, he took me to various meetings with the water board and the municipality. Thirdly: Paul Teunissen, technical advisor Water in Balans. Paul was my contact person at Water Board Limburg. I contacted him when I had a question about the decisions and considerations the water board makes. He was very open and helpful to me since I first met him as a student from the Delta Futures Lab, founded by Martine Rutten. Finally: Remko Uijlenhoet, professor of hydrology at the TU Delft. I updated Remko weekly about the progress I made during the internship. I really appreciated the trust he gave me and I am thankful for getting to know him!

TU DELFT I.S.M. WSP NEDERLAND

VERFIJNING, GEVOELIGHEIDSANALYSE EN TOEPASSING VAN EEN HYDROLOGSICH MODEL

AFVOER IN DE MECHELDERBEEK MET BEHULP VAN EEN NIEUW ONTWIKKELDE ARCMAP-TOOL

21 APRIL 2022



WSP NEDERLAND B.V.

PROJECTNUMMER
WAB019161

DOCUMENTNUMMER
Versie 01

wsp.com

COLOFON

RAPPORTHISTORIE

01	21-04-2022	Concept

VERANTWOORDING

CONTACTGEGEVENS

Jesse Frunt
+31 6 29 13 18 86
j.fruent@student.tudelft.nl
jesse.fruent@wsp.com

AUTORISATIE

PROJECTNUMMER	DOCUMENTNUMMER	VERSIE	STATUS
WAB019161		01	Concept

OPGESTELD DOOR	FUNCTIE	DATUM	PARAAF
J. Frunt	Stagiair Waterbeheer	20-04-2022	

GEVERIFIEERD DOOR	FUNCTIE	DATUM	PARAAF

GOEDGEKEURD DOOR	FUNCTIE	DATUM	PARAAF



PRODUCTIETEAM

OPDRACHTGEVER

TU Delft	Faculty of Civil Engineering and Geosciences

WSP

Projectmanager Water	Maarten van Dieren

SUBCONSULTANTS

GIS Specialist	Paul van der Wal
Professor of Hydrology – TU Delft	Prof.dr.ir Remko Uijlenhoet

INHOUDS- OPGAVE

1	INTRODUCTIE	6
2	PROJECTOMSCHRIJVING	7
3	RESULTATEN	10
4	DISCUSSIE	19
5	TOEPASSING	21
6	CONCLUSIE	22

1 INTRODUCTIE

In opdracht van Waterschap Limburg is WSP Nederland gevraagd de ‘snel aan de slag’ (SADS) maatregel betreffende een regenwater buffer aan de Vijlenstraat uit te werken. Het doel is om een integraal ontwerp te maken waarin de buffer een geoptimaliseerde inpassing in de dynamische omgeving van het Zuid-Limburgse landschap krijgt. Om inzicht te krijgen in het hydrologisch functioneren van het Mechelderbeekdal heeft WSP binnen de vakgroep Water & Omgeving een ArcGIS-tool ontwikkeld. Deze tool kan ingezet worden om een globaal beeld te vormen van de samenhang tussen de diverse hydrologische processen die zich in het beekdal voordoen. Door de afvoer in de Mechelderbeek te voorspellen voor verschillende neerslagduren en -intensiteiten zijn we in staat om het ontwerp zodanig te optimaliseren dat de buffer de daaraan gekoppelde piekafvoeren afvangt.

Het model dient een reflectie te zijn van de complexe samenhang tussen hydrologische processen en aspecten die het neerslag-afvoergedrag van het Mechelderbeekdal bepalen. Om dit te realiseren moeten de met elkaar interfererende processen afzonderlijk goed begrepen worden.

“De vorming van oppervlakkige afvoer uit neerslag is afhankelijk van gebiedskenmerken zoals topografie, landgebruik, pedologie en geomorfologie”.¹ Processen als interceptie, infiltratie, percolatie, evaporatie en transpiratie van vegetatie hebben invloed op de waterhuishouding in het beekdal. Daarnaast speelt de initiële waterbalans binnen een systeem een grote rol. De tool gaat niet in detail op al deze processen in maar doet grove aannames om de realiteit te benaderen.

Naast gebiedseigen kenmerken is de input van extreme neerslag waar de uitkomst van de tool op berust. Voor Nederland is aan de hand van statistiek bepaald dat eens per x -aantal jaar een bui die y -aantal minuten tot dagen duurt voor een z -aantal millimeter neerslag zorgt. Deze extremen geven de meeste wateroverlast dus het watersysteem dient hierop te zijn voorbereid.

De regenwaterbuffer aan de Vijlenstraat te Vijlen, Zuid-Limburg, wordt ontworpen op een totale neerslaghoeveelheid die hoort bij een bui met een herhalingsdij van 25 jaar en 2 uur aanhoudt. Dit zijn op dit moment de ontwerpprincipes die het Waterschap Limburg hanteert voor de kans op wateroverlast in bebouwde kernen langs beken en in droogdalen in Heubelland Zuid-Limburg.²

¹ Verhoest, N.E.C., Callewier, L., De Jongh, I.L.M., Cabus, P.W.A. & De Troch, F.P. (2002). *Modelleren van de neerslag-afvoerrelatie: 1. Het model concept*.

² Provincie Limburg 2021, Cluster Natuur en Water. *Provinciaal Waterprogramma 2022-2027*.

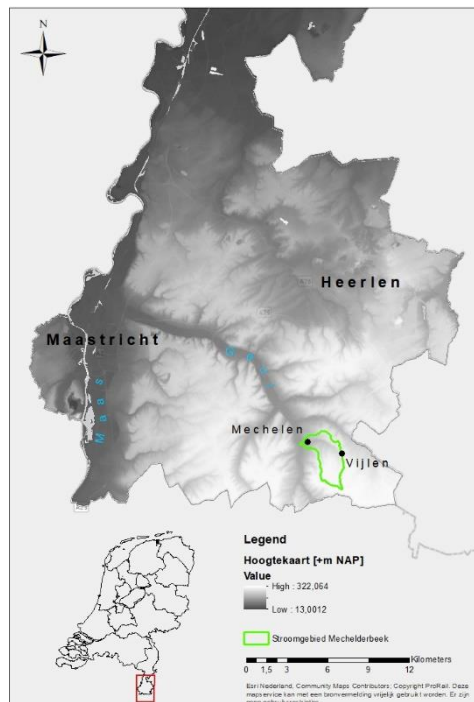
2 PROJECTOMSCHRIJVING

Voor het in kaart brengen van de hydrologische situatie van het Mechelderbeekdal is gebruik gemaakt van ArcMap, de primaire applicatie die wordt gebruikt in ArcGIS. De tool modelleert het afstromend oppervlak per vijf minuten voor verschillende neerslagduren en -intensiteiten uit de extreme neerslagstatistiek. Het oppervlak dat per tijdsstap direct bijdraagt aan de hoeveelheid water die wordt afgevoerd door de Mechelderbeek wordt ingeladen in een Microsoft Excel-bestand. Hierin worden correcties uitgevoerd op de afstromende hoeveelheid hemelwater waarna, opnieuw per tijdsstap, het debiet van de beek bepaald wordt. Op basis van deze debieten kan een hydrograaf van de desbetreffende regenbui worden gecreëerd. Hieruit kan worden afgelezen op welk moment in de bui de buffer aan de Vijlenstraat dient te worden ingezet om optimaal te benut te worden. Uiteindelijk wordt niet alleen de inlaat maar ook de inrichting van de regenwater buffer zo ontworpen dat deze het meest efficiënt functioneert in het afvlakken van de piekafvoer in de Mechelderbeek.

Het bouwen van de tool gaat allicht gepaard met het doen van meerdere aannames, benaderingen en simplificaties. Omdat zowel ArcMap als Excel hun limitaties hebben, wordt gepoogd een zo goed mogelijk beeld van de werkelijkheid te schetsen. De praktijk zal uitwijzen of de schattingen correct zijn.

Stroomgebied

De eerste aanname wordt gedaan bij het definiëren van het stroomgebied van de Mechelderbeek. De grenzen van het gebied worden bepaald door de geologische waterscheiding, daar waar de geologie van het gebied het landschap opdeelt in twee of meerdere afzonderlijke hellingen. De hydrologische waterscheiding echter, daar waar het grondwater in divergerende richting stroomt, kan in de orde van meters verschillen van de geologische waterscheiding. Een raster dataset van 5 bij 5 meter bevat informatie over de hoogte van het gebied. Deze informatie is afkomstig van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN4). De Spatial Analyst toolbox van ArcMap is gebruikt om vanuit dit hoogtebestand de Flow Direction te bepalen, de richting in welke water zou afstromen gekeken naar de hoogte van de 8 omliggende cellen. Uit dezelfde toolbox is vervolgens de Flow Accumulation bepaald, het bovenstroomse gebied dat zich concentreert in de desbetreffende cel.



Kaart 1: Hoogtekaart Zuid-Limburg en locatie Mechelderbeekdal

Afstroom

Vervolgens is met de Raster Calculator de gemiddelde afvoer per cel berekend. Hiervoor worden een aantal belangrijke simplificaties toegepast in een Geoprocessing model. Allereerst is de neerslagintensiteit gelijk aan de totale neerslag van een bepaalde bui gedeeld door het aantal seconde dat die bui duurt. De intensiteit van de neerslag blijft dus gedurende de gehele bui duur gelijk. Daarnaast wordt in het model uitgegaan van een volledig verzadigde bodem en zijn er geen evaporatie of transpiratie verliezen: al het water dat valt wordt direct afgevoerd richting het laagste punt van het beekdal. Met deze informatie weet het model voor iedere cel hoeveel kubieke meter water er per seconde wordt afgevoerd. Dat is namelijk gelijk aan het totale bovenstroomse gebied van de desbetreffende cel maal de neerslagintensiteit plus de neerslag in deze cel zelf.

Stromingen

De hoeveelheid water, het volume, dat wordt afgevoerd hangt sterk samen met de waterdiepte en stroomsnelheid: $Q = v * A$. Hierin is Q de afvoer in m^3/s , v de stroomsnelheid in m/s en A het oppervlak van de watervoerende dwarsdoorsnede in m^2 . Voor het bepalen van de waterdiepte is gebruik gemaakt van de Manning-vergelijking, een empirische vergelijking die van toepassing is op uniforme stroming in open kanalen. In het model wordt dus aangenomen dat de stroomsnelheid onafhankelijk is van tijd en plaats. Manning's stromingsformule ziet er als volgt uit:

$$v = \frac{k}{n} R^{2/3} S^{1/2},^3$$

Omdat het model rekent met SI eenheden is k gelijk aan 1 [-]. De waarde van n representeert Manning's ruwheidscoëfficiënt in $s/m^{1/3}$ en is afhankelijk van de bodembedekking. Uit literatuur blijkt dat grasland een ruwheidscoëfficiënt van 0,080 heeft.⁴ De hydraulische radius, $\frac{A}{P}$, wordt weergegeven met R in m. De helling onder welke het water afstroomt wordt meegenomen door variabele S in m/m . Met de Slope tool uit de Spatial Analyst kan de helling in het stroomgebied van de Mechelderbeek worden bepaald.

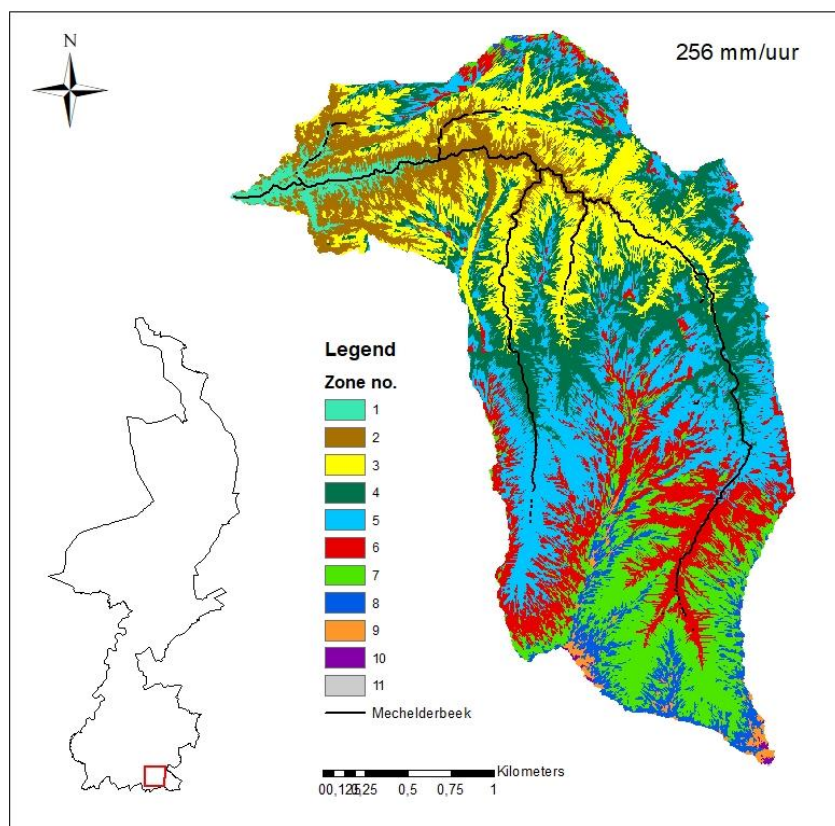
Bij een gelijkmatige verdeling van de neerslagintensiteit over de gehele cel, zal het gevallen water initieel over de gehele breedte van de cel verdeeld afstromen. De watervoerende dwarsdoorsnede heeft dan een zeer uitgerekte rechthoekige vorm met waterdiepte h gelijk aan de neerslagintensiteit. Verder benedenstrooms, waar het water zich verzamelt, wordt de afvoerende hoeveelheid steeds groter. Op een bepaald moment concentreert het afstromende water zich en vormt een stroomgootje. Het model classificeert alle cellen met een bovenstrooms oppervlak dat gelijk is aan de oppervlakte van 35 cellen als stroomgeul. In tegenstelling tot de initiële afvoerdoorsnede hebben deze stroomgeulen een V-vormige dwarsdoorsnede. De gekozen oppervlakte van $875 m^2$ (35 cellen van 5 bij 5 meter) is statisch en niet afhankelijk van de neerslagintensiteit. Na herschrijving van de Manning-formule wordt de waterdiepte per cel geconstrueerd voor regenbuien met verschillende intensiteiten.

³ Manning, R. (1891). *On the flow of water in open channels and pipes*. Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland. 20: 161-207.

⁴ Jung, I., Park, J., Park, G., Lee, M. & Kim, S. (2011). *A grid-based rainfall-runoff model for flood simulation including paddy fields*. Paddy and Water Environment. 9: 275-290. DOI: 10.1007/s10333-010-0232-4.

Zonering

Met behulp van parameters als n , Q , S en α , waarin laatstgenoemd het talud van de V-vormige dwarsdoorsnede weergeeft, is de maximum stroomsnelheid (Q is gelijk aan de som van het aantal afvoerende bovenstroomse cellen maal de neerslagintensiteit) per cel bepaald. Deze stroomsnelheid wordt vervolgens gebruikt om te bepalen hoe lang het duurt voordat het water dat in een bepaalde cel valt het uitstroompunt heeft bereikt. Het stroomgebied wordt aan de hand hiervan opgedeeld in zones van 5 minuten ofwel 300 seconden. Per neerslagintensiteit is het aantal zones en het oppervlak van de zones verschillend. Hoge intensiteiten resulteren in grote afvoeren en dus snel stromend water terwijl lage intensiteiten gepaard gaan met een kleiner debiet. Snel stromend water doet er minder lang over om van punt A naar punt B te geraken en legt in 300 seconden een grotere afstand af. Het aantal zones bij hoge neerslagintensiteiten zal dus lager liggen dan bij lage neerslagintensiteiten. Daarnaast zullen de afvoerende oppervlaktes groter zijn bij hoge neerslagintensiteiten. De in ArcMap gegenereerde data over deze afvoerzones is geëxporteerd naar een Excel-bestand.



Kaart 2: Theoretische zonering van het Mechelderbeekdal bij een constante neerslagintensiteit van 256 mm/uur

Neerslag

Voor neerslagintensiteiten variërend van 0,25 mm/uur tot 512 mm/uur zijn de afvoerzones ingeladen in Excel. Hierin is bepaald op welk moment tijdens een dergelijke regenbui welk deel van het stroomgebied bijdraagt aan de totale waterafvoer in de Mechelderbeek. Door lineair te interpoleren door de neerslagstatistieken van het STOWA kan de totale neerslaghoeveelheid worden benaderd voor iedere neerslagduur en herhalingstijd. Deze zelfde interpolatie wordt toegepast op de stroomsnelheid van het afvoerende water en voor het bepalen wat de afvoerende zones voor die specifieke regenbui zijn. Door de gevonden afvoerzones te combineren met de neerslagintensiteit en -duur worden hydrografen van de beek geschetst. Deze hydrografen laten zien vanaf welk debiet de waterbuffer ingezet dient te worden om de piekafvoer af te vlakken.

3 RESULTATEN

Manning

De in het model toegepaste formule van Manning om de waterdiepte bij een bepaalde afvoer en stroomsnelheid te berekenen neemt hiernaast ook de ruwheid van de ondergrond in overweging. Landgebruik voor agrarische doeleinden domineren in het stroomgebied van de Mechelderbeek. Voornamelijk gras en jaarlijkse gewassen worden verbouwd op percelen aangrenzend aan de Mechelderbeek. Daarnaast bevindt zich een bosrijk gebied in het meest bovenstroomse neerslaggebied. Gemiddeld genomen overheerst het areaal aan grasland de regio. Vandaar dat een ruwheidscoëfficiënt n van 0,080 is aangenomen representatief te zijn voor water dat homogeen over het land afstroomt. In de beek en de kleine zijstroompjes wordt gerekend met een n -waarde van 0,035 welke is afgeleid van waterstroming over kale grond.

Tabel 1: Manning's ruwheidscoëfficiënt voor stroming over land

Land cover classes	Area (%)	n_{surf}
Water	1.49	0.030
Settlement	2.22	0.020
Bare soil	1.08	0.035
Wetland	0.90	0.050
Grassland	1.04	0.080
Forest	73.66	0.180
Paddy field	13.39	0.050
Cropland	6.22	0.100

Neerslagstatistiek

Lineaire interpolatie van de neerslagstatistiek is niet geheel gerechtvaardigd. Een betere benadering van de totale neerslaghoeveelheid die hoort bij een bepaalde herhalingsperiode en neerslagduur wordt verkregen door de basisstatistiek van het STOWA toe te passen. Aan de hand van twee kansverdelingen, de GEV (Generalized Extreme Value) en de GLO (Generalized LOGistic), wordt geactualiseerde neerslagdata beschreven. Beide kansverdelingen hebben een locatieparameter (ξ), een schaalparameter (α) en een vormparameter (κ). De helling van de lijn die de kansverdeling in een Gumble waarschijnlijkheidsplot weergeeft wordt in belangrijke mate bepaald door de dispersiecoëfficiënt (γ). De regressievergelijkingen voor het bepalen van de hiervoor beschreven parameters zijn opgenomen in het Excel-bestand van de tool. Hiermee worden de regenduurlijnen en de statistiek tabellen afgeleid die de neerslaghoeveelheid als functie van de herhalingsperiode geeft.⁵

$$x_{GEV}(T) = \xi_{GEV} \left(1 + \frac{\gamma_{GEV}}{\kappa_{GEV}} [1 - T^{-\kappa_{GEV}}] \right) \quad \text{VOOR } \kappa_{GEV} \neq 0$$

$$x_{GEV}(T) = \xi_{GEV} (1 + \gamma_{GEV} \ln T) \quad \text{VOOR } \kappa_{GEV} = 0$$

$$x_{GLO}(T) = \xi_{GLO} \left(1 + \frac{\gamma_{GLO}}{\kappa_{GLO}} \left[1 - \left\{ \left(1 - \exp \left[-\frac{1}{T} \right] \right) / \exp \left[-\frac{1}{T} \right] \right\}^{\kappa_{GLO}} \right] \right) \quad \text{VOOR } \kappa_{GLO} \neq 0$$

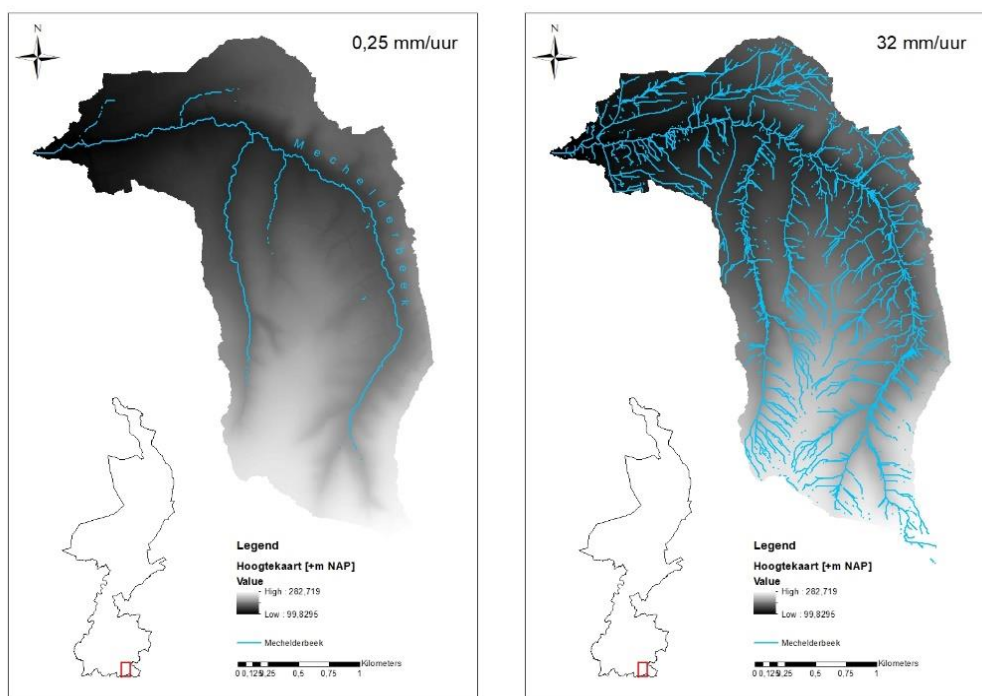
$$x_{GLO}(T) = \xi_{GLO} \left(1 - \gamma_{GLO} \ln \left\{ \left(1 - \exp \left[-\frac{1}{T} \right] \right) / \exp \left[-\frac{1}{T} \right] \right\} \right) \quad \text{VOOR } \kappa_{GLO} = 0$$

⁵ STOWA2019: Beersma, J., Hakvoort, H., Jilderda, R., Overeem, A. & Versteeg, R. (2019). *Neerslagstatistiek en -reeksen voor het waterbeheer 2019*. STOWA 2019-19. ISBN: 978.90.5773.860.9.

Stroompjes

In het huidige model bepaalt een statisch bovenstrooms oppervlak, onafhankelijk van de neerslagintensiteit, of water homogeen over het land afstroomt of zich concentreert in een waterloop met een V-vormig dwarsprofiel. Echter is het ontspringen van kleine stroompjes afhankelijk van het volume water dat niet in de bodem kan infiltreren en dus zal afstromen. Hoge neerslagintensiteiten zullen resulteren in het ontstaan van meer kleine waterstroompjes dan lage neerslagintensiteiten. Omdat de hydraulische radius groter is wanneer water volgens een V-vormig dwarsprofiel stroomt in plaats van gelijkmatig verdeeld over het land, zal ook de stroomsnelheid hoger zijn. Deze afstroomsnelheid beïnvloedt de definitie van de verschillende afstroomzones waar vervolgens in Excel mee gerekend wordt.

Het model is zodanig aangepast dat de waterdiepte voor iedere cel wordt berekend, uitgaande van homogeen afstroom over de gehele breedte van de cel (5 meter). Wanneer deze waterdiepte groter is dan 2 cm wordt de aanname gedaan dat er een watervoerend stroompje ontstaat. Een kanttekening hierbij is wel dat 2 cm over een breedte van 5 m gelijk is aan een waterdiepte van 10 cm per meter en 20 cm per 50 cm, wat praktisch in orde grootte de dimensies van het stroompje zullen zijn. Het gevolg van deze aanpassing aan het model is dat, afhankelijk van de neerslagintensiteit, al dan niet kleine stroompjes zullen ontspringen in bovenstroomse gebieden van de Mechelderbeek.



Kaart 3: V-vormige stroompjes bij een neerslagintensiteit van 0,25 mm/uur (links) en 32 mm/uur (rechts)

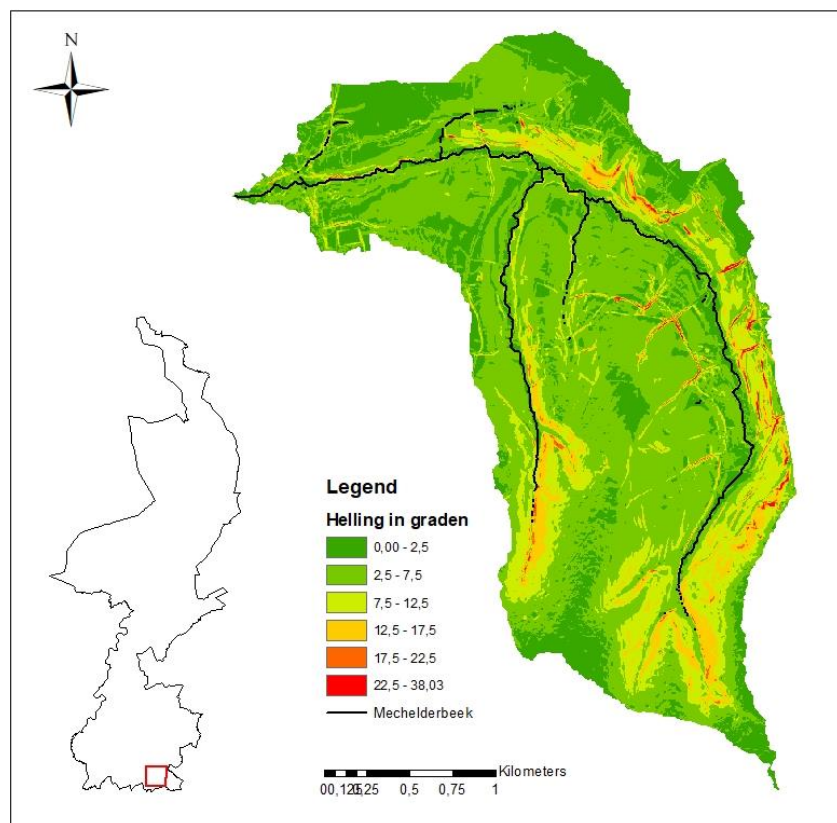
Afstroomsnelheid

De in Excel verkregen hydrografen zijn gebaseerd op de maximale afstroomsnelheden per neerslagintensiteit. Echter, wanneer een groot deel van het water niet direct afstroomt zal de werkelijke afstroomsnelheid niet maximaal zijn. Om hiervoor te compenseren wordt de hoeveelheid afstromend water, die volgt uit de gemiddelde neerslagintensiteit minus de hoeveelheid water die per tijdstap wordt geborgen, gelinkt aan de maximum stroomsnelheid van een regenbui met een intensiteit die gelijk is aan het werkelijke afstromende volume water. Het gevolg van deze correctie is dat de hydrograaf steiler wordt aan de voorkant en afvlakt wanneer de piek geweest is.

Infiltratie

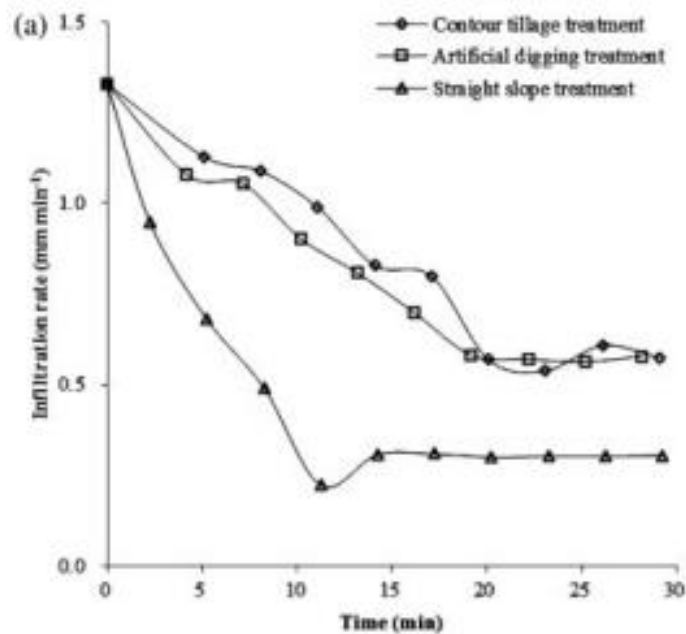
De mate waarin neerslag afstroomt en in de Mechelderbeek terecht komt hangt sterk af van de infiltratiesnelheid in de bodem. Verschillende factoren spelen een rol in de infiltratiesnelheid en -capaciteit van de bodem. Onder meer de bodemtextuur en korrelgrootteverdeling bepalen óf, hoeveel en hoe snel water kan infiltreren. Ook de helling en het gebruik van een perceel beïnvloeden infiltratie. Overlandstroom van hemelwater treed op wanneer de neerslagintensiteit groter is dan de infiltratiesnelheid (infiltratie-overschot of het Horton-mechanisme). Wanneer de initiële waterverzadiging van de bodem plus het geïnfiltreerde water de maximum opslagcapaciteit van de bodem overschrijdt, leidt dat tot een verzadigings-overschot of het optreden van het Dunne-mechanisme.¹ De ArcMap-tool is niet in staat om per cel met al deze factoren en variabelen rekening te houden. Een realistisch beeld van de totale infiltratie in het Mechelderbeekdal wordt daarom benaderd door verschillende aannames te doen.

Ondergrondgegevens van het DINoloket en de Atlas Limburg wijzen uit dat de bodem in Zuid-Limburg vooral bestaat uit klei, zavel, leem en löss. Deze bodemtypes hebben een hoog lutumgehalte en een zeer fijne bodemtextuur. Het poriënvolume is relatief groot, echter is de gemiddelde poriediameter erg klein waardoor de hydraulische conductiviteit in de bodem laag is. Een vegetatiebedekking, die bijvoorbeeld uit gras, jaarlijkse gewassen of bosvegetatie bestaat, heeft een positief effect op de infiltratiesnelheid omdat het de impact van regendruppels dempt en het wortelstelsel grove, goed water geleidende, poriën creëert. Daarnaast kan het bladoppervlak van de vegetatie en bepaalde hoeveelheid water tijdelijk bergen. Uit het AHN4 is herleid dat de gemiddelde helling in het stroomgebied rond de 5° ligt.



Kaart 4: Hellingshoeken van het landschap in het Mechelderbeekdal

Infiltratie in het model is meegenomen door een maximum capaciteit en snelheid te definiëren. Wanneer de neerslagintensiteit onder een bepaalde maximum infiltratiesnelheid ligt, zal de volledige neerslag in de bodem infiltreren tot het moment dat de bodem verzadigd is. Dit verzadigingspunt is variabel in het model en wanneer dit punt bereikt is zal de infiltratiesnelheid met 20% per 5 minuten afnemen. Het water dat niet infiltreert zal afstromen en bijdragen aan de totale afvoer in de Mechelderbeek. Wanneer de neerslagintensiteit hoger is dan de maximum infiltratiesnelheid van 1,2 mm/min, is de initiële infiltratie 6 mm/5 min waarna deze iedere tijdstap van 5 minuten 20% minder wordt. Ook hier draagt het verschil tussen neerslag en infiltratie, afhankelijk van de afstroomzone, direct bij aan het debiet in de beek. De toegepaste initiële infiltratiesnelheid van 1,2 mm/min en regressie van 20% is afgeleid uit literatuur.⁶



Figuur 1: infiltratie snelheidscurve voor verschillende grondbewerkingen op lössgronden met een helling van 5°

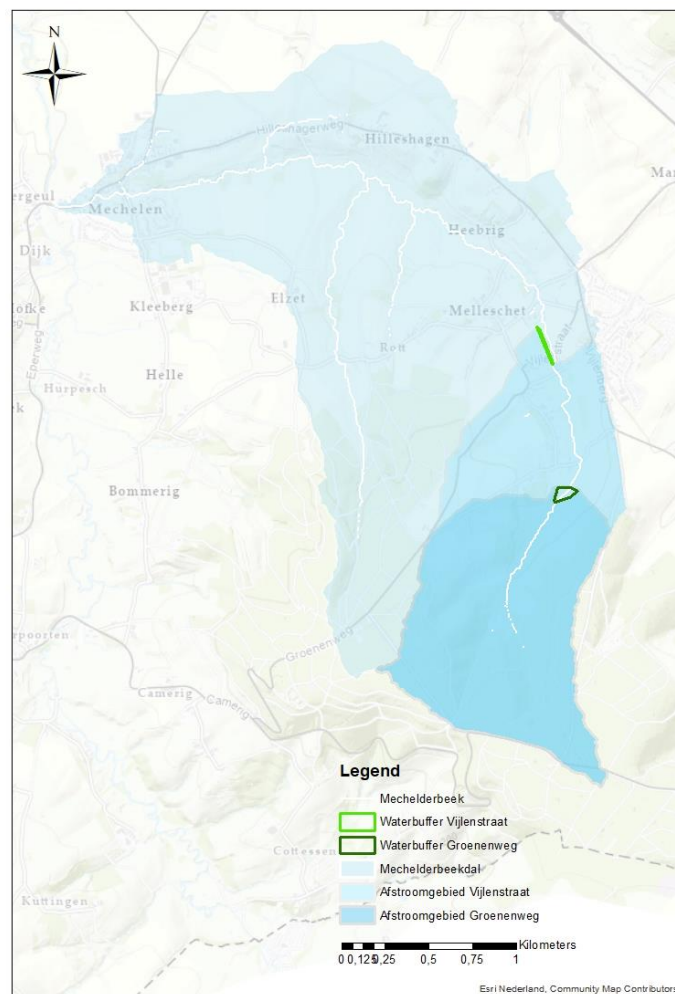
Het Waterschap Limburg doet een zeer grove benadering door aan te nemen dat, voor dit beekdal, bij een T25 zo'n 30 procent van het regenwater direct afstroomt richting de Geul. Deze factor komt voort uit berekeningen met het LISEM model. De overige 70 procent zal het systeem verlaten als verdamping of achterblijven als infiltratie of berging. Wanneer we uitgaan van een maatgevende bui van 2 uur met een herhalingsdij van 25 jaar, is de geïntercepteerde hoeveelheid water grofweg gelijk aan 33 mm.

⁶ Wu, Q., Wang, L. & Wu, F. (2014). *Tillage - impact on infiltration of the Loess Plateau of China*. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science. 64(4): 341-349. DOI: 10.1080/09064710.2014.910266.

Buffers

Het effect dat een waterbuffer heeft op het afvlakken van de piekafvoer in een beek wordt bepaald in het Excel-bestand. Allereerst wordt in GIS het bovenstroomse gebied gedefinieerd vanaf de pixel die de inlaat van de buffer moet voorstellen. Dit gebied wordt ingeladen in Excel en de afstroom uit dat gebied wordt, volgens dezelfde manier als hiervoor beschreven, bepaald. Water dat de buffer in stroomt zal het uitstroompunt bij Mechelen niet binnen 24 uur bereiken. De afvangcurve van de buffer wordt daarom van de afvoercurve van het hele Mechelderbeekdal af gehaald. Het model kan zo aangepast worden dat vanaf een bepaald debiet de buffer vol stroomt. De inlaat van de buffer kan dus een overlaat, knijpconstructie of helemaal niets zijn. Vervolgens heeft de buffer een maximale opslagcapaciteit. De waterbuffer aan de Vijlenstraat zal rond de 5000 m³ kunnen bergen. Wanneer deze maximale capaciteit bereikt wordt zal al het water wat er te veel doorheen stroomt afstromen naar het laagste punt in het hele beekdal.

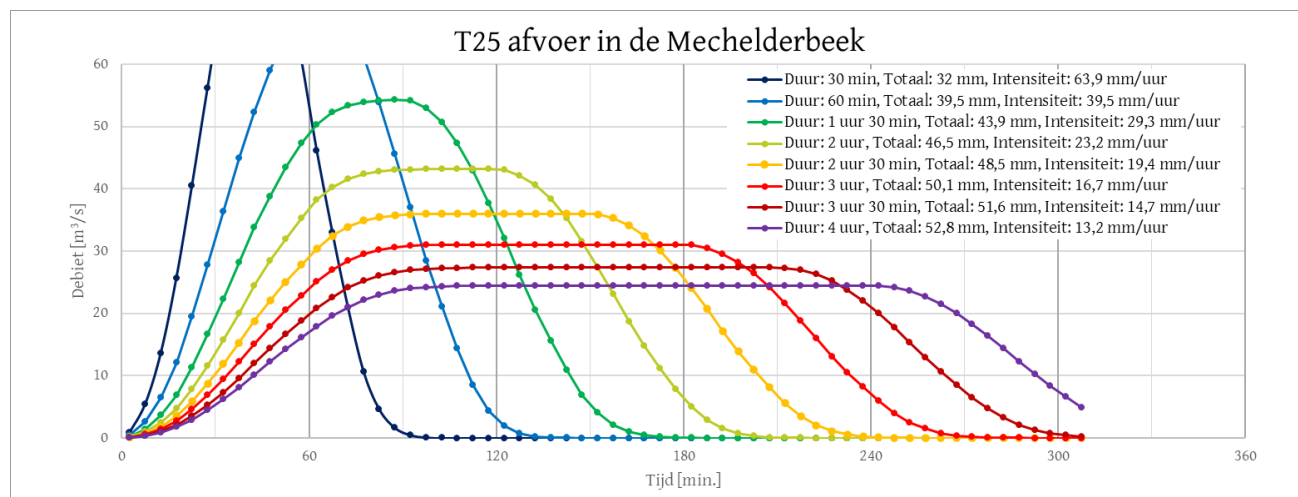
Echter, in een beekdal net als dat van de Mechelderbeek hangen verschillende waterbuffers in een complex systeem samen. Zo is in 2021 de capaciteit van de waterbuffer aan de Groenenweg, bovenstrooms van de Vijlenstraat, vergroot naar zo'n 8400 kubieke meter. Het water wat hier wordt afgevangen zal dus niet aankomen bij de buffer aan de Vijlenstraat. Het bovenstrooms afgevangen water zal in het Excel-bestand worden meegenomen als "negatieve" neerslag, water dat niet infiltreert noch afstroomt. Op deze manier worden dus verschillende waterbuffers aan elkaar gekoppeld om een zo compleet mogelijk beeld van het afstroombegedrag in het Mechelderbeekdal te vormen.



Kaart 5: Bovenstroomse afstroombegedrag voor de twee waterbuffers en het uitstroompunt in Mechelen

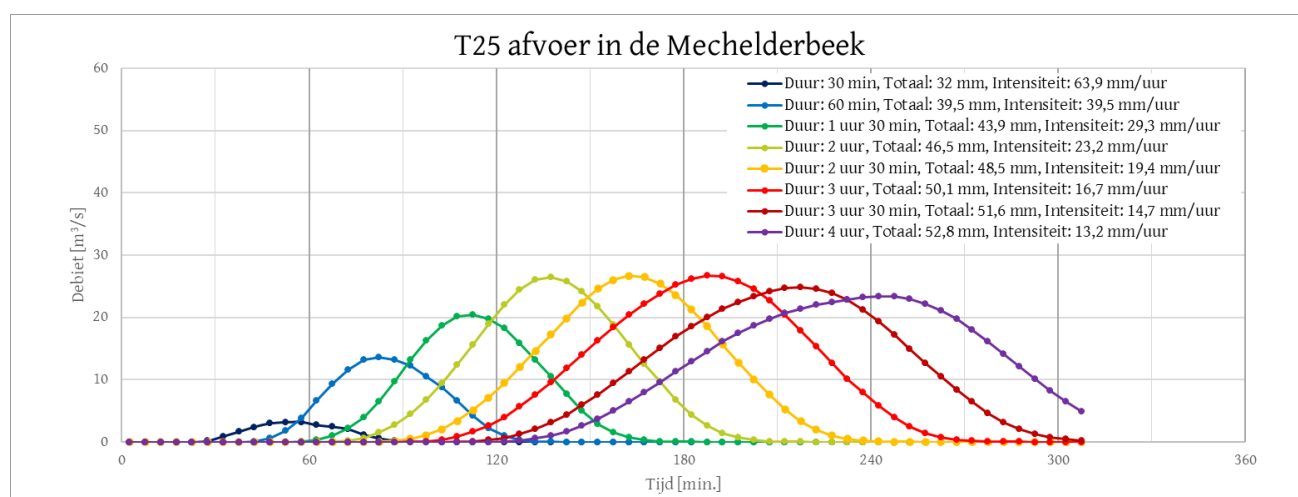
Afvoercurves

Het uiteindelijke resultaat van de tool zijn de hydrografen van de Mechelderbeek die horen bij een bepaald neerslagevenement. Hieronder zijn een aantal voorbeelden van de mogelijkheden die de tool biedt weergegeven. Ieder markeringssteken staat voor 5 minuten.



Hydrograaf 1: Herhalingstijd van 25 jaar voor uiteenlopende buiduren, 100% afstroom

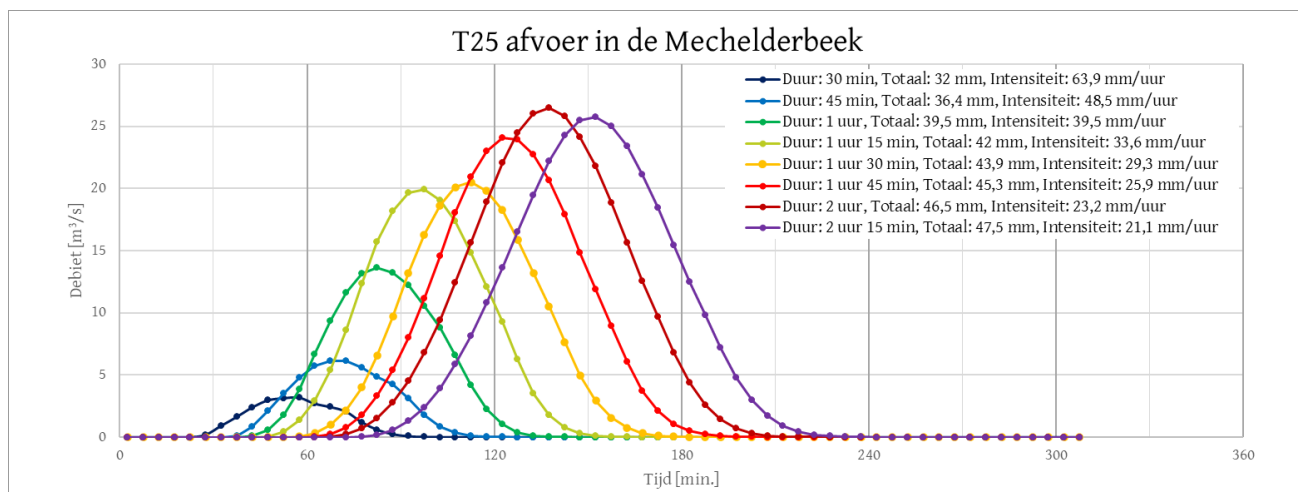
Hydrograaf 1 geeft het beeld dat we krijgen wanneer infiltratie en interceptie buiten beschouwing wordt gelaten: al het water dat valt stroomt direct via de Mechelderbeek af. Op het moment dat een hydrograaf zijn piek heeft bereikt en vlak blijft, vanaf ca. 1,5 uur, betekent dat dat alle zones bijdragen aan de totale afvoer in de Mechelderbeek. Voor de kortere buien met een hele hoge neerslagintensiteit zien we dat door de korte duur van de bui niet alle zones ooit op hetzelfde moment bijdragen aan de totale afvoer. Wat we ook zien is dat het moment waarop alle zones tegelijk bijdragen aan de afvoer in de beek, daar waar de hydrograaf afvlakt, steeds iets later bereikt is. Dit is te verklaren doordat wij aannemen dat lagere neerslagintensiteiten gepaard gaan met lagere afstroomsnelheden. Verder zijn deze debieten erg onrealistisch voor een smalle beek als de Mechelderbeek. We moeten daarom rekening houden met de hoeveelheid water die niet direct afstroomt maar bijvoorbeeld infiltreert in de bodem of (tijdelijk) wordt geborgen in regentonnen of waterbuffers.



Hydrograaf 2: Herhalingstijd van 25 jaar voor uiteenlopende buiduren, 30% afstroom van de twee uur durende regenbui

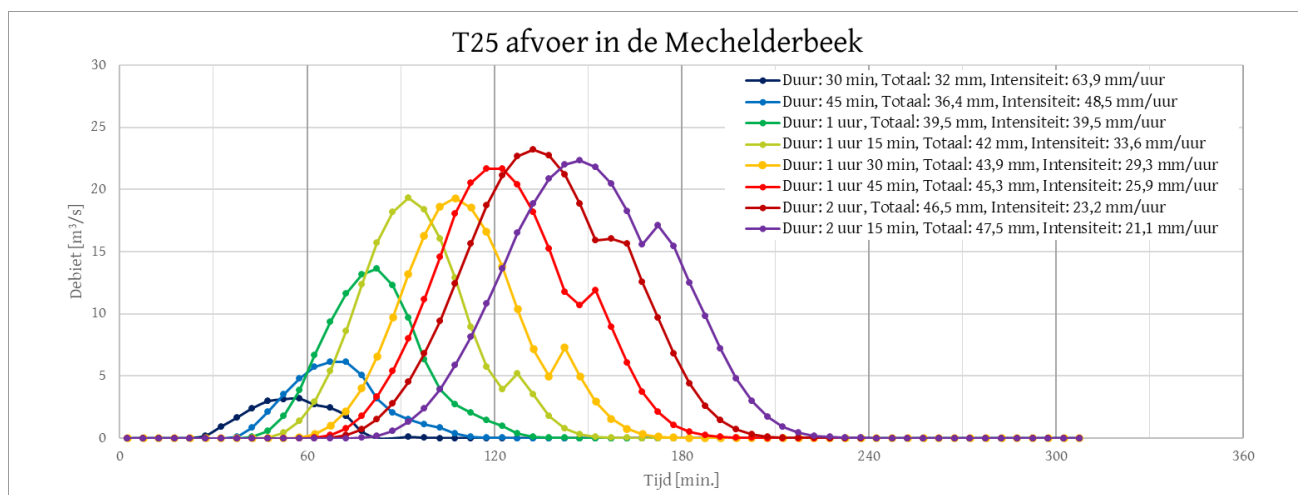
Hydrograaf 2 houdt rekening met ca. 33 mm neerslag die niet direct afstroomt. Deze hoeveelheid heeft het Waterschap Limburg gebaseerd op eerdere berekeningen met een 2 uur durende bui en een intensiteit van 23,2 mm/uur. Zoals duidelijk te zien is in de hydrografen, wordt vooral aan de voorkant van iedere bui water onderschept. De hoge

neerslagintensiteit die hoort bij een half uur durende bui is aangenomen laag genoeg te zijn om volledig te kunnen infiltreren in de bodem. Door de korte duur van deze bui is de piek afvoer, vergeleken met de situatie waarin infiltratie buitenwegen werd gelaten, zo'n 17 keer kleiner geworden. Voor de langer durende buien is de piekafvoer om en nabij gelijk. De bui van 4 uur bereikt zelfs bijna opnieuw het moment waarop alle zones bijdragen aan de afvoer in de Mechelderbeek. Dit maal omdat in de uren voordat de piek bereikt wordt, het systeem verzadigd is geraakt waarna alsnog 100% van de neerslag die op dat moment valt direct zal afstromen.



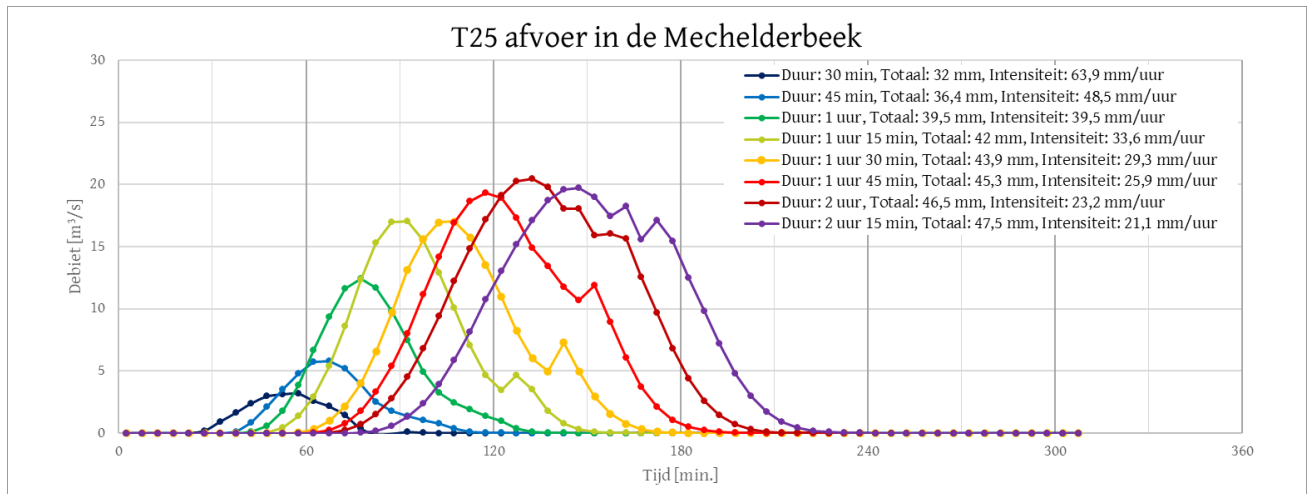
Hydrograaf 3: Herhalingstijd van 25 jaar voor kort durende buien

De y-as in de hydrografen hierboven is gehalveerd ten opzichte van de eerste twee hydrografen. Wanneer we de hydrografen construeren voor kortere buiduren, waarin het waterschap is geïnteresseerd, zien we dat de twee uur durende bui daadwerkelijk de hoogste piekafvoer geeft bij een herhalingstijd van 25 jaar. Het lijkt er dus op dat het waterschap haar beleid op de juiste bui duur voor dit beekdal focust.



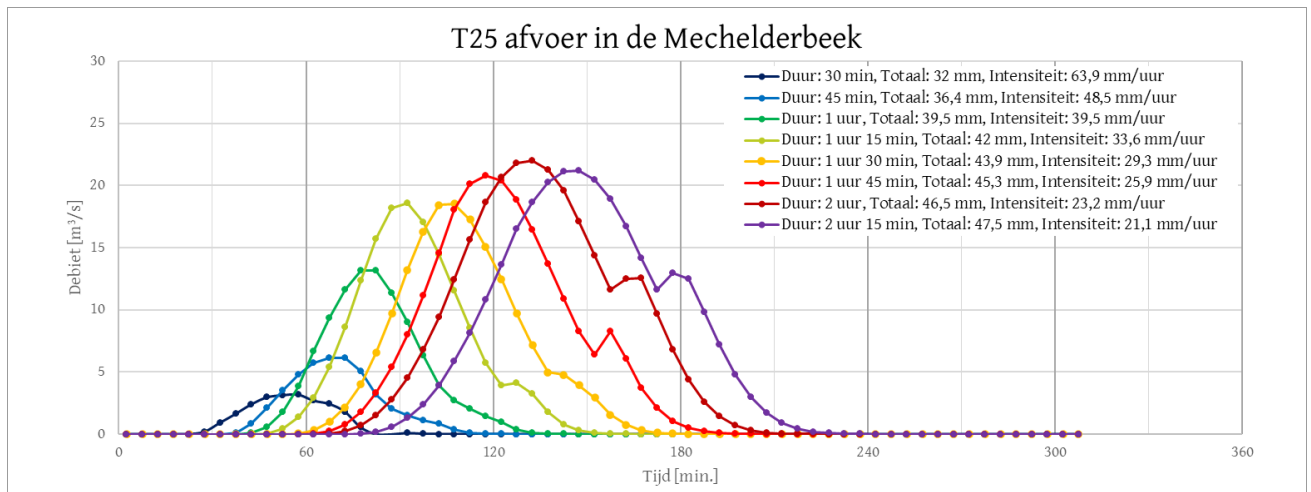
Hydrograaf 4: Effect van de regenwaterbuffer aan de Groenenweg met een capaciteit van 8400 m³ en een instroommoment vanaf 0,5 m³/s

Hydrograaf 4 geeft het beeld dat wordt gevormd door de bestaande regenwaterbuffer aan de Groenenweg, bovenstrooms van de Vijlenstraat. Deze buffer heeft een maximum bergingsvolume van 8400 m³ en, nemen we nu aan, stroomt vol vanaf een debiet in de Mechelderbeek van 0,5 m³/s. Voornamelijk de achterkant van de hydrograaf wordt beïnvloed door de inpassing van deze buffer. Dit effect is te wijten aan de ver bovenstroomse locatie van deze buffer. Vergeleken met hydrograaf 3 is duidelijk te zien dat door de buffer de piekafvoer lager wordt. Het “sprongetje” dat te zien is aan de achterkant van de hydrograaf ontstaat wanneer de buffer volledig is benut en de maximum capaciteit bereikt is. Vanaf dat moment stroomt al het bovenstrooms afgevoerde water direct richting het uitstroompunt.



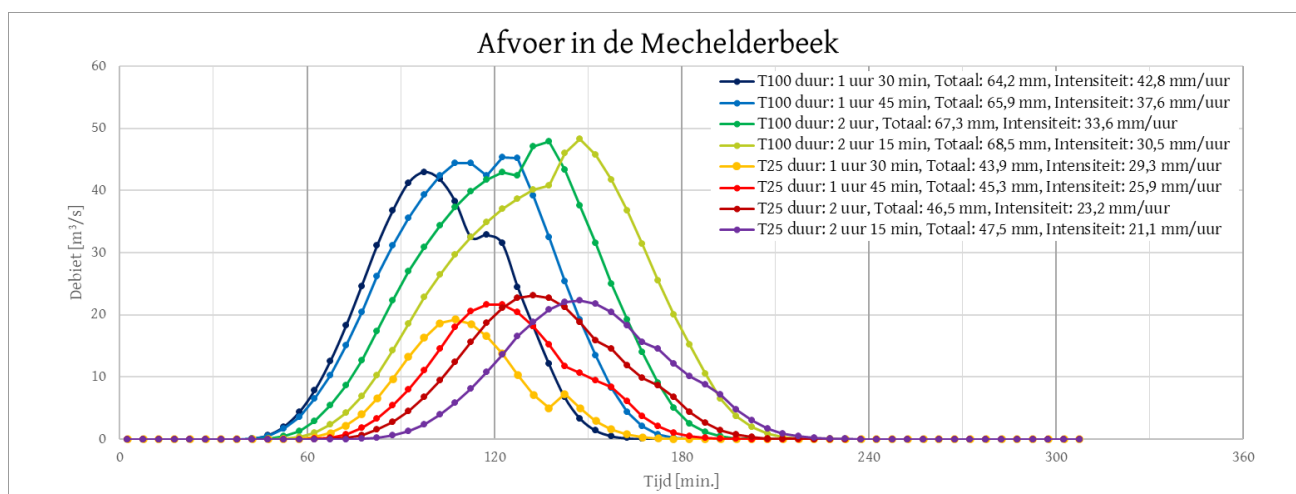
Hydrograaf 5: Effect van de regenwaterbuffers aan zowel de Groenenweg als de Vijlenstraat, met een capaciteit van 5000 m³ en een instroommoment vanaf 0,5 m³/s

Wanneer we nu de buffer aan de Vijlenstraat meenemen in de tool, daarbij aannemend dat het maximum bergend volume 5000 kuub bedraagt en de buffer vol begint te stromen vanaf een debiet van 0,5 m³/s, zien we dat het maximum debiet nog weer iets lager komt te liggen. Het effect van de buffer aan de Vijlenstraat ligt in dit geval meer richting het midden van de afvoercurve doordat deze buffer iets meer benedenstrooms ligt ten opzichte van de Groenenweg. Inpassing van de buffer aan de Vijlenstraat lijkt op dit moment goed te zijn gedimensioneerd. Wanneer we bijvoorbeeld het instroommoment middels een knijpconstructie verhogen naar 2 m³/s krijgen we het volgende resultaat:



Hydrograaf 6: Effect van de buffer aan de Vijlenstraat wanneer het instroommoment wordt verhoogd naar 2 m³/s

In dit geval wordt de buffer aan de Vijlenstraat te laat ingezet om de piek van de twee uur durende bui met een herhalingsjijd van 25 jaar zo veel mogelijk af te vlakken.



Hydrograaf 7: Effect van de regenwaterbuffers aan zowel de Groenenweg als de Vijlenstraat, met een capaciteit van 5000 m³ en een instroommoment vanaf 5 m³/s

Wanneer we echter kijken naar een grotere herhalingstijd, van 100 jaar, zien we dat een instroommoment vanaf 5 m³/s voor de Vijlenstraat tot een goed resultaat leidt. In de toekomst zal het Waterschap Limburg haar normering voor de kans op wateroverlast verhogen. De afweging zal nu gemaakt moeten worden of de regenwaterbuffer aan de Vijlenstraat ontworpen dient te worden op de huidige of de toekomstige normering.

Zoals de voorbeelden hierboven beschrijven kan er middels de tool gespeeld worden met de optimale inpassing van een regenwaterbuffer op iedere locatie binnen het systeem. De tool geeft binnen aanzienbare tijd inzicht in het effect van een dergelijke inpassing op het moment en de omvang van de afvoerpiek.

4 DISCUSSIE

Een hydrologisch model is nooit af. Ook aan deze tool kan nog van alles toegevoegd en gesleuteld worden maar in grote lijnen staat het. Tot op een zeker niveau worden aannames gedaan en wordt de complexiteit van het watersysteem benaderd door simplificaties. Op verschillende punten kan de tool verbeterd worden om een gedetailleerder beeld te krijgen van de hydrologie in een beekdal.

Spatiale schaal

Op dit moment is het hoogtebestand in ArcMap ingeladen als een 5 bij 5 meter raster dataset. Het AHN4 daarentegen, kan veel nauwkeurigere hoogtedata aanleveren. Wanneer was gekozen voor bijvoorbeeld een 1x1 m raster resulteert dat in een veel preciezere hellingkaart. Een gevolg hiervan is wel dat zeer lokaal de stroomrichting in bepaalde cellen kan afwijken van de dominante stroomrichting, namelijk in de richting van het uitstroompunt. Hierdoor ontstaan kleine gaten in de dataset die vervolgens foutmeldingen geven wanneer de Flow Accumulation wordt berekend. Een kleinere spatiale schaal betekent ook dat voor het laten runnen van het model er veel meer berekeningen gedaan moeten worden en het dus ook veel langer zal duren.

De celgrootte kan ook vergroot worden naar bijvoorbeeld 25 bij 25 meter. De resolutie wordt lager door deze aanpassing maar de rekensnelheid zal ook verminderen. Hierdoor wordt het interessant om de tool op een groter stroomgebied, bijvoorbeeld dat van de Geul, toe te passen. Omdat de nauwkeurigheid van de tool op lokaal niveau zal verminderen, zal ook het gedrag van kleinere stroompjes en beken minder goed in kaart gebracht worden.

Temporele schaal

De temporele schaal van de tool is 5 minuten, ofwel 300 seconde. Door het stroomgebied van de Mechelderbeek te zoneren wordt het oppervlak dat per tijdsstap bijdraagt aan de totale afvoer berekend in GIS. Voor lage neerslagintensiteiten is het aantal zones groter dan voor hoge neerslagintensiteiten. Deze tijdschaal zou echter vergroot of verkleind kunnen worden om meer of juist minder punten op de hydrograaf te verkrijgen waartussen lineair geïnterpoleerd wordt. Een kleinere tijdsstap zou dus uiteindelijk een gedetailleerdere weergave van de hydrograaf geven maar, net als bij een kleinere ruimtelijke schaal, verhoogt ook de doorlooptijd van de tool.

Neerslag homogeniteit

Het model is op dit moment zo geprogrammeerd dat op een bepaald moment in het hele stroomgebied van de Mechelderbeek regen begint te vallen met een intensiteit die niet verandert gedurende de neerslagduur. Het InfoWorks afvoermodel van Waterschap Limburg doet deze aanname ook. In de realiteit zal de neerslag ergens aan de rand van het stroomgebied beginnen en zich langzaam over het hele stroomgebied verspreiden. Daarnaast zal ook de intensiteit van de regenbui nergens constant zijn. Het is echter heel lastig om slechts aan de hand van neerslagstatistiek ruimtelijke en temporale variatie toe te passen op de totale neerslaghoeveelheid.

Infiltratie parameter kalibratie

Zoals eerder beschreven worden er rondom het niet-direct afstromende hemelwater enkele aannames gedaan. In zijn totaliteit wordt de geïnfiltreerde en geborgen hoeveelheid water benaderd door een bepaald percentage van de totale neerslaghoeveelheid te nemen. Dit percentage zou reëel kunnen zijn voor de situatie in het Mechelderbeekdal, maar andere beekdalen hebben te maken met hun specifieke gebiedseigen parameters. Zo zal een veel grilliger landschap, met steilere hellingen, water sneller naar een waterloop afvoeren dan een meer glooiend landschap. Een bosrijk gebied zal meer water kunnen laten infiltreren dan een bebouwd gebied. Ieder project waar deze tool ingezet gaat worden zal dus een kalibratie van diverse parameters vereisen.

Een waardevolle stap voor dit project zou zijn om de parameterwaardes terug te koppelen aan de door het Waterschap Limburg gebruikte parameters in het Limburg Soil Erosion Model (LISEM). Dit fysisch gebaseerde hydrologische en bodemerosiemodel berust onder andere op de bladoppervlak index, een correctiefactor voor het stadium van een gewas en de hydraulische conductiviteit van de bodem. Naast deze drie parameters is het resultaat van het LISEM-model gebaseerd op zo'n 30 andere variabele.

De berging van water zou idealiter afhangen van eigenschappen als helling, bodemtextuur, initiële waterbalans, bodembedekking, etc. Per cel zouden deze eigenschappen kunnen verschillen wat leidt tot een enorme hoeveelheid aan individuele berekeningen. Echter wanneer wordt gerekend met slechts één specifieke bui kan het interessant zijn om infiltratie te laten afhangen van gebiedseigen kenmerken. Het effect van een eventuele ingreep in het landschap of verandering van het landgebruik wordt hierdoor direct zichtbaar in de afvoercurve. Omdat duurzaam en waterbestendig landgebruik de prioriteit heeft voor het waterschap dient dit goed in de tool te zitten. Het inpassen van een waterbuffer binnen een beekstelsysteem is slechts een sluitpost om extreme piekafvoeren af te vlakken.

Grondwater

Waar in het model geen rekening mee wordt gehouden zijn oppervlakkige grondwaterstromen, het vrijkomen van tijdelijk opgeslagen water en kwel. Omdat deze processen zich op een grotere tijdschaal afspelen (dagen/weken/maanden/jaren) worden ze niet meegenomen in het construeren van afvoergolven in de beek. Het doel van de tool is om inzicht te krijgen in extreme debieten na hevige neerslag. Langdurige processen dragen niet of nauwelijks mee aan de enorm snelle respons van beekdalen als dat van de Mechelderbeek.

Versteilen/afvlakken

Volgens de toegepaste formule van Manning voor uniforme stroming in open kanalen, hangt de stroomsnelheid sterk samen met het debiet en daarmee de waterdiepte. Een grotere afvoer betekent dus een hogere waterstand en sneller stromend water. De afvoercurve zou dus bij een steeds groter wordend debiet steiler moeten verlopen en bij een afnemend debiet langzaam afvlakken. Het forceren van een steilere hydrograaf zou kunnen betekenen dat de piekafvoer eerder bij het uitstroompunt is dan voorheen werd voorspeld. Om wateroverlast te voorkomen kan hierop geacteerd worden door het ontwerpen en implementeren van bepaalde interventies in het stroomgebied.

Validatie

Om te controleren of de tool enigszins betrouwbare resultaten voortbrengt dient deze gevalideerd te worden. Validatie gebeurt op basis van gemeten of geobserveerde data. Voor de Mechelderbeek ontbreekt deze data echter. Voor de verkenning van de gehele Mechelderbeek past het ingenieursadviesbureau Sweco een complex model toe dat inzicht in de beekafvoer moet geven. Deze resultaten zullen door het Waterschap Limburg met WSP gedeeld worden. Hierna kan de tool op geldigheid beoordeeld worden en waar nodig aangescherpt.

Presentatie

De tool moet in een razendsnel tempo inzicht geven in de afvoerrespons van een beek op veranderingen in het stroomgebied. In één oogopslag moet te zien zijn welk effect een aanpassing in het beekstelsysteem tot gevolg heeft. Presentatie en visualisatie van de resultaten spelen hierbij een cruciale rol. Het Excel-bestand genereert in één figuur acht hydrografen van neerslagextremen die van elkaar verschillen in herhalingstijd en/of bui duur. Wanneer in de tool aan bepaalde knoppen gedraaid wordt om veranderingen in het stroomgebied te simuleren dient deze opnieuw gerund te worden waarna een stel nieuwe hydrografen wordt geconstrueerd.

Een waardevolle aanpassing zou gedaan kunnen worden door het verschil in maximum piekafvoer, vergeleken met de situatie voorheen, in één plot weer te geven. Daarnaast zou de procentueel uitgedrukte winst of het verlies in een tabel overzichtelijk gemaakt kunnen worden. Omdat een Excel-bestand een erg persoonlijk product is, is het voor derden vaak lastig om zich wegwijs te maken in de stappen die worden gezet. Het Excel-bestand behorend bij deze tool dient te worden opgeschoond en gebruiksvriendelijker gemaakt te worden voor het op grotere schaal bij andere projecten ingezet kan worden.

5 TOEPASSING

De kracht van de tool is dat deze voor ieder beekdal binnen een paar tellen inzicht geeft in de respons van het watersysteem voor iedere gewenste regenbui duur en intensiteit. De tool kan toegepast worden in verkennend onderzoek naar het hydrologisch functioneren van bepaalde beekdalen. Daarnaast geeft de tool een goed beeld van een geschikte locatie en passende dimensies van een mogelijke interventie in het systeem.

Omdat de tool is ontwikkeld op basis van slechts een hoogtebestand en neerslagstatistiek is de tool breed inzetbaar in gebieden waar weinig of geen afvoerdata beschikbaar is. Bepaalde correctiefactoren en gebiedseigen parameters kunnen eenvoudig aangepast worden. Door afvoergolven van verschillende beekdalen te combineren kan de samenhang tussen deze waterlopen gesimuleerd worden met de tool.

De tool is niet ontwikkeld om in detail te schetsen hoe de verschillende hydrologische processen in een beekdal zich tot elkaar verhouden. Het is daarom geen geschikte tool om tot een specifiek ontwerp van een duiker, overlaat of andere structuur te komen. De tool geeft echter wel een algemene inzicht in de knelpunten of mogelijke locaties voor een interventie binnen een watersysteem.

Consultancybedrijven en ingenieursbureaus maken geregeld gebruik van complexe modellen die een representatieve weergave van de werkelijkheid schetsen. Ideeën worden op deze modellen toegepast en getoetst op hun toegevoegde waarde. Actualisatie van data is van groot belang voor een juiste kalibratie van zulke complexe modellen. Dit proces is vaak erg tijdsintensief en kostbaar. De tool kan op dit punt bijspringen om, alvorens het complexe model is gevalideerd, inzicht te geven in het gevolg van een aanpassing binnen het watersysteem.

De simpliciteit van de tool biedt flexibiliteit en creativiteit in de voorontwerpfase van een project. Winst wordt hierdoor behaald op de kwaliteit van mogelijke oplossingen en op tijds efficiëntie van het proces. In een vroeger stadium kan de tool ingezet worden als ondersteuning in het omgevingsmanagement waarbij alle belanghebbenden betrokken zijn.

6 CONCLUSIE

De GIS specialist van WSP Nederland, Paul van der Wal, heeft een fantastische tool ontwikkeld die de efficiëntie van een verkenningsfase kan verhogen en daarmee direct geld kan opbrengen. Binnen een paar tellen kan met de tool inzicht worden verkregen in de inpassing van bepaalde maatregelen binnen een stroomgebied. In samenwerking met Jesse Frunt, masterstudent Water Management aan de TU Delft, is de tool gecontroleerd en verfijnd. Op dit moment gaat de ontwikkeling van de tool door zodat deze uiteindelijk toepasbaar is in de praktijk.