



HoGent

Faculteit Toegepaste Ingenieurswetenschappen

Vakgroep Bouwkunde – Landmeten

Academiejaar 2012-2013

**Een beslissingsondersteunende tool voor de
aanmaak van 2D-gesimuleerde
overstromingskaarten in een GIS**

**A decision supporting tool for the creation of
2D simulated flood maps in a GIS**

door
Hanne GLAS

Masterproef tot het behalen van de graad Master in de Industriële
wetenschappen: Landmeten

Promotor: Prof. dr. Ing. Greta DERUYTER

Auteursrecht

De auteur en de promotor geven de toelating deze masterproef voor consultatie beschikbaar te stellen en delen hiervan te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van gegevens uit deze studie. Het auteursrecht betreffende de gegevens vermeld in deze masterproef berust bij de promotor(en).

Voorwoord

Dit onderzoek was enorm leerrijk voor mij. Ik heb heel wat kennis en vaardigheden opgedaan tijdens dit proces. Hiervoor wil ik allereerst mijn promotor, Prof. dr. Ing. Greta Deruyter, bedanken, voor de ondersteuning tijdens dit onderzoek en de tijd en inzet die ze in mijn masterproef heeft geïnvesteerd. Ook wil ik de Hogeschool Gent bedanken om me de kans te geven dit onderzoek te voeren.

Een woord van dank gaat ook uit naar Antea Group, afdeling Water, met name Mr. Ivan Rocabado. Zijn documentatie en kennis hebben mij op de goede weg gezet tijdens dit onderzoek. Ook Mr. Thomas Van Hoestenberghen en Mevr. Annelies Beel wil ik bedanken. Tijdens mijn stage bij Antea Group hebben zij mij de kans gegeven om te leren programmeren met Python in ArcGIS. Deze kennis heeft me geholpen in deze masterproef.

Ik wil zeker mijn ouders bedanken, die me steeds gesteund hebben tijdens mijn studies. De kansen die zij mij gegeven hebben, zorgden ervoor dat ik dit onderzoek kon voeren en hun visie heeft me geholpen alles correct onder woorden te brengen. Tenslotte gaat een woord van dank uit naar iedereen die me op een zekere manier gesteund en geholpen heeft tijdens deze masterproef, in het bijzonder naar Arne en Jana.

Hanne Glas

5 juni 2013

Abstract

Overstromingen behoren tot de meest destructieve natuurrampen. Om de gevolgen van deze rampen zo goed mogelijk in te schatten en te beheren, worden overstromingsmodellen opgesteld. Door rekening te houden met zowel de weersomstandigheden als de omgevingsfactoren en de klimaatsverandering, wordt getracht een zo accuraat mogelijke benadering van de werkelijke overstroming te geven. Er kan een indeling gemaakt worden in drie groepen: (i) de statische overstromingsmodellen, deze kaarten houden geen rekening met de evolutie van de overstroming in de tijd, (ii) de dynamische overstromingsmodellen die een poging doen om het verband tussen de positie van de overstroming in de tijd en in de ruimte weer te geven, en (iii) de DTM-gebaseerde overstromingsmodellen, die via een digitaal terreinmodel de hoger gelegen gebieden identificeren als evacuatie routes en de lager gelegen gebieden als overstroomd.

Het Belgische dynamische overstromingsmodel is al zeer uitgebreid en beschrijft de verbanden tussen alle factoren waarheidsgetrouw. Toch heeft ook dit model een tekortkoming: hoewel het model een correct beeld geeft van de uiteindelijke omvang van de overstroming, zegt het niets over de wijze waarop de overstroming zich verplaatst in de tijd. De huidige voorspellingssoftware duiden alle gebieden die lager liggen dan de waterstand aan als 'overstroomd'. Dit is echter niet altijd het geval. De overstroming begint steeds vanaf de overstroomde oeverpunten, de inlaatpunten. Het water moet een weg vinden vanaf deze punten tot aan de laaggelegen gebieden vooraleer deze overstroomd zijn. Wanneer de overstroming weer terugtrekt, zullen plassen ontstaan. Dit zijn overstroomde gebieden die niet meer verbonden zijn met de rivier. Volgens de huidige software zal het water hier even snel dalen als in de rivier. Ook dit is niet waarheidsgetrouw. Het water in een plas zal veel minder snel dalen, omdat het enkel in de grond kan dringen en niet terug naar de rivier kan stromen.

In dit onderzoek werd een beslissingsondersteunende tool in een GIS ontworpen die het verloop van de overstroming realistisch weergeeft in de tijd. De overstroomde gebieden worden berekend vanaf de inlaatpunten en eventuele plassen die ontstaan zullen minder snel verdwijnen. Deze bekomen kaarten liggen dicht bij de werkelijkheid dan de voorspellingskaarten die de software nu afleveren. Deze tool is een hulpmiddel voor een meer accuraat rampenbeheer en de opmaak van betere evacuatieplannen.

Inhoudsopgave

Auteursrecht	2
Voorwoord.....	3
Abstract	4
Inhoudsopgave.....	5
Lijst van figuren	7
Lijst van tabellen	9
Lijst van de afkortingen	10
1 Inleiding	11
2 Overstromingen	13
2.1 Algemeen	13
2.2 Belangrijke factoren bij overstromingen	15
2.2.1 Omgevingsfactoren	15
2.2.2 Weersomstandigheden	15
2.2.3 Klimaatverandering	16
3 Overstromingsvoorspellingsmodellen	17
3.1 Soorten modellen	17
3.1.1 Statische modellen	17
3.1.2 Dynamische modellen	19
3.1.3 DTM-gebaseerde modellen.....	20
3.1.4 Tekortkomingen van de bestaande modellen	21
3.2 Het Belgische voorspellingsmodel	22
3.2.1 Methode.....	22
3.2.1.1 Hydrologisch model	22
3.2.1.2 Hydraulisch model	23
3.2.1.3 Basismodel	24
3.2.2 Software	25
3.2.2.1 Overzicht	25
3.2.2.2 De rol van geografische informatiesystemen (GIS).....	29
3.2.2.3 Bespreking	30
4 Probleemstelling	31
5 Afbakening onderzoeksveld en doelstellingen.....	35
6 Onderzoek.....	36
6.1 Inleiding	36
6.2 Casestudy: rivier de IJzer	37
6.2.1 Algemene informatie.....	37
6.2.2 Beschikbare informatie en simulatiedatasets	37
6.3 Beslissingsondersteunende tool	41

6.3.1	<i>Shapefiles</i> klaarmaken voor gebruik	42
6.3.1.1	Werkwijze	42
6.3.1.2	Script en resultaat	43
6.3.2	Gegevens uit datatabel halen	44
6.3.2.1	Werkwijze	44
6.3.2.2	Script	44
6.3.3	Overstroomde oeverpunten in een aparte <i>shapefile</i> plaatsen	45
6.3.3.1	Werkwijze	45
6.3.3.2	Script en resultaten	45
6.3.4	Overstroomde gebieden bepalen (als $wh > wh(tijd-1)$ (vorige waterhoogte)) ...	46
6.3.4.1	Werkwijze	46
6.3.4.2	Script en resultaten	46
6.3.5	Overstroomde gebieden bepalen (als $wh < wh(tijd-1)$ (vorige waterhoogte)) ...	49
6.3.5.1	Werkwijze	49
6.3.5.2	Script en resultaten	49
6.3.6	Terugtrekken van de overstroming – ontstaan van plassen	50
6.3.6.1	Werkwijze	50
6.3.6.2	Script en resultaten	51
6.3.7	Gebruikersinterface	52
6.3.7.1	Werkwijze	52
6.3.7.2	Script en resultaat	52
6.4	Beperkingen van het onderzoek	56
6.5	Vergelijking resultaten bestaande software en beslissingsondersteunende tool ...	57
7	Conclusie	59
	Referentielijst	61
	Bijlage: Script van de beslissingsondersteunende tool	63

Lijst van figuren

Figuur 1: Rampenmanagement cirkel (Kubicek et al, 2011)	13
Figuur 2: Overstromingskaart van Harris County (VS)	17
Figuur 3: Flood Risk Map of Vietnam (Boateng, 2012)	18
Figuur 4: GIS interface (Foraci et al, 2005).....	19
Figuur 5: Vergelijken van gemeten data met historische data (Foraci et al, 2005)	20
Figuur 6: Procedure om de neerslagroutes en evacuatie routes te bepalen (Kim et al, 2011) .	21
Figuur 7: Globaal modelconcept hydrologisch model (Ecorem-Haecon, 2002)	22
Figuur 8: Hydraulisch model van de IJse (Ecorem-Haecon, 2002).....	23
Figuur 9: Schadefactor voor verschillende bodemgebruiktypes (ARCADIS Belgium NV, 2011) .	25
Figuur 10: Infoworks RS gebruikersinterface: overstroomde gebieden (Innovyze, 2013)	26
Figuur 11: Mike 11 gebruikersinterface: hydraulisch model en dwarsdoorsnede waterloop (DHI, 2011)	27
Figuur 12: SOBEK gebruikersinterface: hydraulisch model (Deltares, 2012).....	27
Figuur 13: Hec-Ras gebruikersinterface: RAS Mapper (Hydraulic Engineering Center, 2008)....	28
Figuur 14: Basement gebruikersinterface: overzicht overstroomde gebieden 2D (ETH, 2010) .	28
Figuur 15: Kalypso gebruikersinterface: overstroomde gebieden.....	29
Figuur 16: Vergelijking van het Infoworks RS-model met de GIS-aanpak.....	34
Figuur 17: Vergelijking van een DTM in ArcGIS en Google Maps satellietbeelden van een spaarbekken langs de IJzer.....	38
Figuur 18: Vergelijking van een DTM in ArcGIS en Google Maps satellietbeelden van splitsing en bocht van de IJzer.....	38
Figuur 19: Vergelijking van de DTM in ArcGIS en Google Maps satellietbeelden van het onderzoeksgebied langs de IJzer.....	39
Figuur 20: Ligging onderzoeksgebied (rode kader).....	39
Figuur 21: Overzicht werking beslissingsondersteunende tool	41
Figuur 22: Omzetten van punten naar Thiessens polygonen ("ArcGIS Help 10.1", 2012).....	42
Figuur 23: DTM- <i>shapefile</i> omgezet naar polygonen met behulp van Thiessens polygonen	43
Figuur 24: Datatabel in Microsoft Excel met de overstromingsgegevens	44

Figuur 25: Polygonen van de oeverpunten die onder de waterhoogte liggen voor tijdstap 1...	46
Figuur 26: Buffer van de afstand die het water maximaal kan afleggen	47
Figuur 27: Gebieden gelegen onder de waterhoogte, voor en na Dissolve.....	48
Figuur 28: Resultaat: overstroomde gebieden langs de IJzer voor 3 tijdstappen.....	48
Figuur 29: Resultaat: overstroomde gebieden langs de IJzer voor tijdstap 3 en 4	50
Figuur 30: Resultaat: Overstroomde gebieden langs de IJzer voor tijdstap 3 (blauw), tijdstap 4 (paars), tijdstap 5 (geel) en tijdstap 6 (groen).....	52
Figuur 31: Properties scherm van de beslissingsondersteunende tool in ArcGIS.....	53
Figuur 32: Startscherm beslissingsondersteunende tool.....	54
Figuur 33: Map Document na het toepassen van de beslissingsondersteunende tool.....	55

Lijst van tabellen

Tabel 1: Simulatiedata, gebruikt bij het testen van de tool	40
Tabel 2: Simulatiedata, gebruikt bij het testen van het terugtrekken van de overstroming.....	51
Tabel 3: Vergelijking tussen werkwijze van de bestaande voorspellingssoftware en die van de beslissingsondersteunende tool, toegepast op het onderzoeksgebied	57

Lijst van de afkortingen

DTM	Digitaal terreinmodel
GIS	Geografisch informatiesysteem
IWRS	Infoworks RS
GRB	Grootschalig referentiebestand
VHA	Vlaamse hydrografische atlas
AGIV	Agentschap voor geografische informatie Vlaanderen

1 Inleiding

Op 18 december 2012 kopte de krant de Morgen: “We moeten ons wapenen tegen superstormen”. In het artikel legt Georges Allaert, professor ruimtelijke ordening aan de UGent, uit hoe Vlaanderen zich moet beschermen tegen overstromingen. Door de zeespiegelstijging ten gevolge van de klimaatsverandering zullen steeds meer vloedgolven plaatsvinden en zal Vlaanderen zich beter moeten beschermen tegen de verwoestende kracht van deze overstromingen. Zowel op materieel als menselijk vlak kunnen de gevolgen catastrofaal zijn.

Om de gevolgen van deze *superstormen* de baas te kunnen, moet de ruimtelijke ordening in heel Vlaanderen herdacht worden. Naast de Noordzee, vormen namelijk ook de rivieren een gevaar. Een stad zoals Antwerpen, die zich tussen de Schelde, de Rupel en andere zijrivieren van de Schelde bevindt, is nu niet beschermd tegen een eventuele overstroming van deze waterlopen. De schade kan nochtans enorm zijn, zoals nu ook blijkt in Centraal-Europa, waar overstromingen van zowel de Elbe als de Donau heel wat steden teisteren. Langs veel rivieren vestigen zich ook heel wat bedrijven. Het economisch verlies kan op deze plaatsen zeer groot zijn. Nochtans kunnen deze vloedgolven opgevangen worden. In Vlaanderen kan dit water geleid worden naar heel wat regio's en plaatsen, waarvan de voornaamste de polders is.

De waarschuwingen en mogelijke maatregelen van Georges Allaert zijn gebaseerd op een overstromingsvoorspellingsmodel. Om de impact van een overstroming voor steden, dorpen, bedrijven en mensen correct te kunnen inschatten, moet de storm accuraat voorspeld worden. Deze masterproef onderzoekt deze voorspellingsmodellen, hun werkwijze en hun gebreken en biedt een verbetering aan voor het huidige Belgische model.

Om uit te leggen hoe een overstromingsvoorspellingsmodel werkt, wordt in paragraaf 2 eerst dieper ingegaan op het natuurfenomeen van de overstroming zelf. De verschillende fasen worden belicht en de factoren die in rekening worden gebracht, aangehaald en uitgelegd. Daarna worden de voorspellingsmodellen zelf besproken. In paragraaf 3.1 wordt een opdeling van de modellen gemaakt in drie groepen: de statische modellen, de dynamische modellen en de modellen gebaseerd op een Digitaal Terrein Model (DTM). Voor elke groep worden de kenmerken, de voor- en nadelen kort belicht. Ook de algemene tekortkomingen van de modellen worden in dit hoofdstuk aangehaald.

In België wordt voor alle rivieren een zelfde werkwijze gebruikt om het voorspellingsmodel op te stellen. Deze methode wordt uit de doeken gedaan in paragraaf 3.2. Ook wordt de voornaamste software die voor het voorspellen van een overstroming gebruikt wordt, vermeld. Deze zorgt ervoor dat het voorspellingsproces voor een groot deel automatisch gebeurt. De rol van Geografische Informatie Systemen (GIS) en de beperkingen van deze voorspellingssoftware worden ook in dit hoofdstuk besproken.

In het onderzoek van deze masterproef wordt een oplossing geboden voor een grote beperking van de nu gebruikte overstromingsvoorspellingssoftware. Deze genereert kaarten waarbij de overstromde gebieden berekend worden vanuit de laagste punten van het gebied, zonder daarbij rekening te houden met de ligging van deze punten ten opzichte van de rivier en de eventuele obstakels die het water moet passeren om deze punten te bereiken.

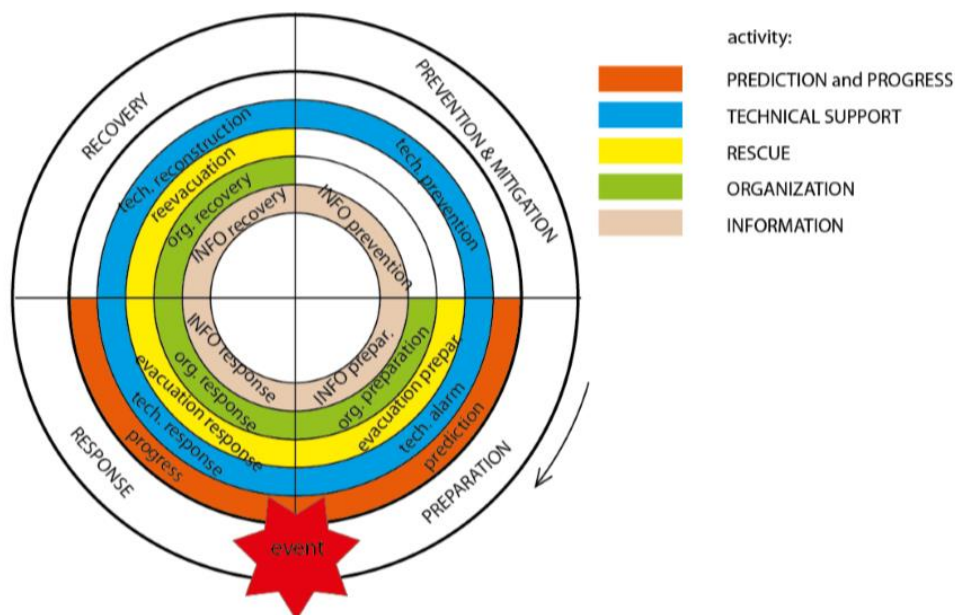
In het onderzoek werd een beslissingsondersteunende tool ontwikkeld die overstromingsvoorspellingskaarten creëert waarbij de overstroming berekend wordt vanuit de oeverpunten waar de rivier uit haar oevers treedt, de inlaatpunten. Laaggelegen gebieden zullen hierbij enkel als overstroomd aangeduid worden als het water een weg vindt vanaf de rivier tot deze laaggelegen gebieden. Het onderzoek en de werking van de tool worden stap voor stap uitgelegd in paragraaf 6. De kaarten die gecreëerd worden, geven een duidelijk beeld van de weg die het water volgt. Op deze manier kunnen opslagplaatsen voor water accuraat bepaald worden en kunnen de gevolgen van onder andere *superstormen* exact ingeschat, voorspeld en beheerd worden.

2 Overstromingen

2.1 Algemeen

Overstromingen behoren tot de meest destructieve natuurrampen. De economische schade van overstromingen wereldwijd wordt op zo'n 40% van de totale schade van alle natuurrampen geschat. (Feng et al, 2010) De gevolgen beperken zich niet enkel tot materieel verlies maar veroorzaken ook veel menselijk leed. In veel landen zijn overstromingen de grootste natuurlijke oorzaak van menselijke en socio-economische schade. (Bakhtyari Kia et al, 2012)

Steeds meer regio's kampen met geregelde en ernstigere overstromingen. De kustgebieden, maar ook de gebieden rond rivieren, moeten hiertegen beschermd worden. Het omgaan met een overstroming kan zoals elk beheer van een noodsituatie opgedeeld worden in de tijd. Er zijn vier belangrijke fases te onderscheiden: (i) de preventie van de ramp, (ii) de voorbereiding vlak voor een overstroming, (iii) de reactie tijdens en (iv) tenslotte het herstel na de ramp. (Kubicek et al, 2011) Elke fase stelt andere eisen aan de beschikbare geodata. Deze cyclus wordt getoond in [Figuur 1](#).



Figuur 1: Rampenmanagement cirkel¹ (Kubicek et al, 2011)

In de *preventiefase* is nog geen sprake van een natuurramp maar is het wel al belangrijk om de risicogebieden te identificeren. Alle informatie die de diensten nodig hebben tijdens een overstroming wordt in deze fase verzameld, verwerkt en in een voorspellingsmodel gegoten. Dit model zal tijdens de volgende fases gebruikt worden. Preventief werken richt zich niet alleen op het minimaliseren van de materiële schade, maar ook op het veilig stellen van mens en dier, zodat geen levens verloren gaan tijdens de overstroming.

De voorbereidingen op de effectieve ramp worden getroffen in de *voorbereidende fase*. In deze is reeds concrete informatie beschikbaar over de ernst en grootte van de nakende storm.

¹ Disaster Management Circle

Het is van cruciaal belang dat deze informatie over deze storm zo accuraat mogelijk bepaald wordt zodat de voorspellingen met betrekking tot de overstromingen nauwkeurig kunnen verlopen, de correcte waarschuwingssystemen geactiveerd worden en de informatie doorstroomt naar alle betrokken diensten.

De derde fase is de *reactiefase*. Dit is het moment van de overstroming zelf. In deze fase moet één bepaalde strategie gekozen en gevolgd worden om de impact van de ramp te minimaliseren. Hierbij is het belangrijk dat alle diensten over de juiste gegevens beschikken. Juiste communicatie en exacte informatie zijn cruciaal in deze fase.

In de laatste fase, de *herstelfase*, wordt de schade geëvalueerd. Het overstromingsmodel wordt geëvalueerd en de eventuele gebreken worden onderzocht en in kaart gebracht. Met deze resultaten wordt de strategie geoptimaliseerd in de volgende preventiefase.

2.2 Belangrijke factoren bij overstromingen

Bij het opstellen van een overstromingsmodel moet er met alle factoren die de overstroming beïnvloeden, rekening gehouden worden. Algemeen wordt de informatie in drie groepen ingedeeld: de omgevingsfactoren, de weersomstandigheden en de klimaatverandering. De interpretatie van deze factoren en hun belang hangt af van de onderzochte locatie. Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen kustgebieden, gebieden langs getijdenrivieren en gebieden langs regenrivieren. (Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie [VNSC], *z.j.*) Een overstroming in de eerste twee gebieden is voornamelijk afhankelijk van het getij. Een regenrivier is niet onderhevig aan getijwerking, hier speelt het neerslaggebied een grote rol. Een correcte interpretatie is dus essentieel bij het opstellen van een goed overstromingsmodel.

2.2.1 Omgevingsfactoren

De topografie en de geologie van het te onderzoeken gebied horen bij deze groep, net zoals het bodemtype en het landgebruik. De topografie van een regio speelt op twee manieren een rol in het opstellen van een overstromingsgebied. (Bakhtyari Kia et al, 2012) Ten eerste hebben topografische factoren een rechtstreekse invloed op de afvloeiing van neerslag en het daarmee gepaard gaande stroomdebiet. Ten tweede bevinden overstromingsgevoelige rivieren zich veelal in laaggelegen gebieden met een geringe helling. Deze topografische factoren kunnen op een relatief eenvoudige manier uit een DTM afgeleid worden.

De aanwezige bodemtypes en de geologische samenstelling van de bodem bepalen in grote mate het vermogen van neerslag om in de grond te dringen. Ook de laatste omgevingsfactor, het landgebruik, speelt hierbij een rol. De dichtheid van de vegetatie in een gebied staat namelijk rechtstreeks in verband met de overstromingsgevoeligheid van dat gebied. Bomen en planten nemen immers meteen een deel van de neerslag op, vertragen de afstroming en verhogen de infiltratie.

2.2.2 Weersomstandigheden

De informatie in verband met de weersomstandigheden spitst zich toe op neerslag, windsnelheden en de algemene weersvoorspellingen, die vanzelfsprekend een grote informatiebron zijn bij het voorspellen van een overstroming. De windsnelheden bepalen mee de grootte van de golven en dus ook de overstromingsgevoeligheid van kustgebieden. De overstromingsgevoeligheid van rivieren hangt dan weer af van de regenval. Een hydrologisch model berekent hoe deze neerslag in de rivier terechtkomt, en hoe snel deze het water opnieuw kan afvoeren. (Ecorem-Haecon, 2002) Dit model wordt uitgebreid besproken in paragraaf 3.2.1.1.

De hoeveelheid neerslag in het volledige gebied wordt gemeten met een pluviograaf. Met een limnograaf worden de waterhoogte en het debiet van een waterloop bepaald. Tenslotte zal met behulp van peilputten de grondwaterstand en de verzadiging van de grond gecontroleerd worden. Deze gegevens worden gecombineerd met de karakteristieken van de omgeving, die in paragraaf 2.2.1 besproken werden.

2.2.3 Klimaatverandering

Een laatste factor zijn de gevolgen van de opwarming van de aarde. Aangezien de klimaatverandering pas de laatste jaren sterk in de belangstelling staat en aan heel wat veronderstellingen onderworpen is, is het moeilijk om de invloed van deze factor te kwantificeren.

Een eerste gevolg van de opwarming van de aarde is de stijging van de zeespiegel. Volgens onderzoek zou het water wereldwijd tussen 1,5 en 2,75 mm per jaar stijgen. (Boateng, 2012) Wanneer een kleinere regio nader onderzocht wordt, zullen deze uitersten dichter bij elkaar liggen en dus een concretere waarde opleveren. Toch is bij het in rekening brengen van de stijging van de zeespiegel steeds enige voorzichtigheid geboden.

Een tweede gevolg van de opwarming van de aarde is de stijgende intensiteit van natuurkrachten zoals golven en tyfoons die eveneens een invloed zullen hebben op de overstromingsgevoeligheid. (Boateng, 2012)

3 Overstromingsvoorspellingsmodellen

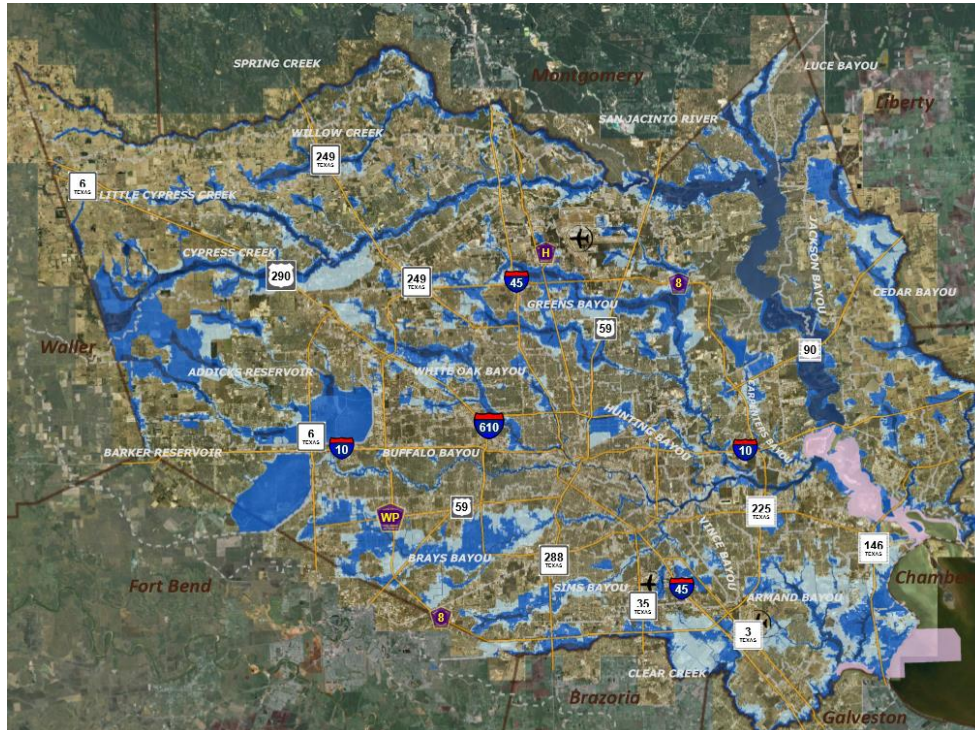
3.1 Soorten modellen

In paragraaf 2 werden de fasen en factoren besproken waarmee rekening wordt gehouden bij het opstellen van een overstromingsmodel. De concrete uitwerking van deze modellen loopt echter sterk uiteen. In dit hoofdstuk komen de meest courante voorspellingsmodellen die wereldwijd gebruikt worden aan bod. Deze kunnen worden opgedeeld in drie groepen: de statische modellen, de dynamische modellen en de DTM-gebaseerde modellen. De eigenschappen en de voor- en nadelen van elk model worden kort belicht.

3.1.1 Statische modellen

De statische modellen bestaan uit een reeks analytische kaarten, opgebouwd met een GIS. Ze worden, afhankelijk van de weergegeven informatie, opgedeeld in twee soorten.

Een eerste soort omvat de overstromingskaarten². (Kubicek et al, 2011) Dit zijn polythematische kaarten, die alle informatie voor één bepaald tijdstip weergeven. Deze afbakening in de tijd is meteen ook een eerste nadeel. Deze kaarten zijn slechts bruikbaar in één fase van de ramp, de reactiefase. De kaart richt zich vooral op wat zich waar bevindt, bijvoorbeeld transport en waterbekkens. Hierdoor is een overstromingskaart niet gericht op de uit te voeren taken, waardoor ze niet overzichtelijk is voor de verschillende hulpdiensten. Er is heel wat zichtbaar wat de diensten niet nodig hebben, waardoor de nuttige informatie onduidelijk wordt.



**Figuur 2: Overstromingskaart van Harris County (VS)
(Harris County Public Infrastructure Department, 2010)**

² Flood Management Plan

De tweede soort omvat de voorspellingskaarten, waarvan in [Figuur 3](#) een voorbeeld te zien is. In deze *casestudy* van de kustlijn van Vietnam (Boateng, 2012) werden de verschillende overstromingsscenario's elk in een aparte laag in een GIS geplaatst. Op deze manier werd een kaart gecreëerd die aantoont welke gebieden zullen overstromen bij een bepaalde zeespiegelstijging.



Figuur 3: Flood Risk Map of Vietnam (Boateng, 2012)

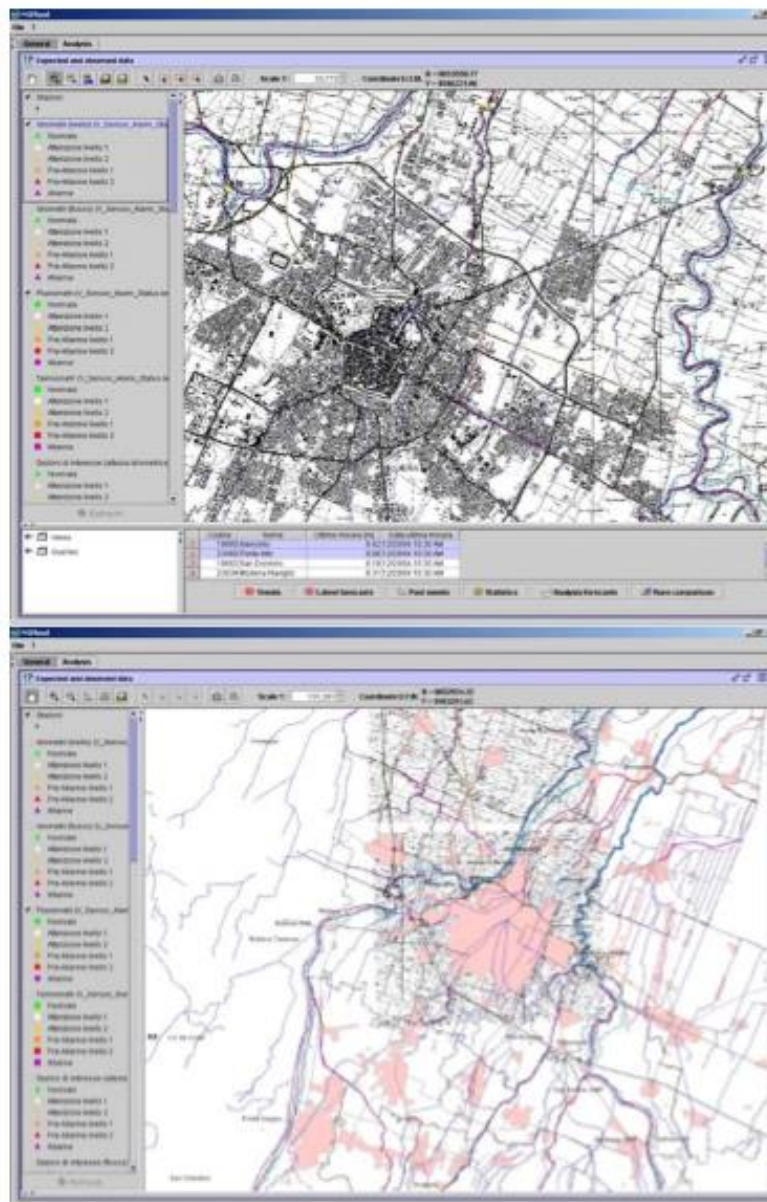
Op [Figuur 3](#) zijn drie lagen zichtbaar: 1 meter stijging, 2 meter stijging en 5 meter stijging. De eerste laag is de voorspelde zeespiegelstijging tegen 2100. 2 meter is de bovenste limiet van de voorspelling, terwijl 5 meter overeenkomt met de stijging in geval van een *worst case scenario*.

Deze kaart biedt de informatie die op één bepaald tijdstip werd verzameld. Wanneer nieuwe gegevens zich aanbieden, moet een volledig nieuwe kaart gemaakt worden. In tegenstelling tot een overstromingskaart is een voorspellingskaart wel een overzichtelijke kaart. Maar ze biedt slechts weinig informatie, waardoor er nog heel wat bijkomende kaarten, die onder andere de bewoonde gebieden en de evacuieroutes in beeld brengen, nodig zijn om op een gepaste manier te kunnen reageren. Deze statische modellen zijn wel geschikt indien enkel een algemene indruk van de overstromingsgevoeligheid van een gebied nodig is. Meer concrete informatie kan uit dynamische modellen of DTM-gebaseerde modellen gehaald worden.

3.1.2 Dynamische modellen

Een dynamisch voorspellingsmodel werkt de meeste nadelen van de statische modellen weg. Het vormt de statische kaart om tot een beslissingsondersteunend instrument (Kubicek et al, 2012) dat veel efficiënter kan ingezet worden want de output wordt aan de noden van de gebruiker aangepast. Zo ziet deze enkel de informatie die voor hem bestemd is, waardoor de kaart overzichtelijker wordt. Op deze manier kunnen de verschillende diensten, de verschillende soorten gebruikers, met dezelfde data werken zonder hierbij gehinderd te worden door overbodige informatie. Elk object wordt op een andere manier getoond, afhankelijk van de rol die het voor de gebruiker in kwestie moet vervullen.

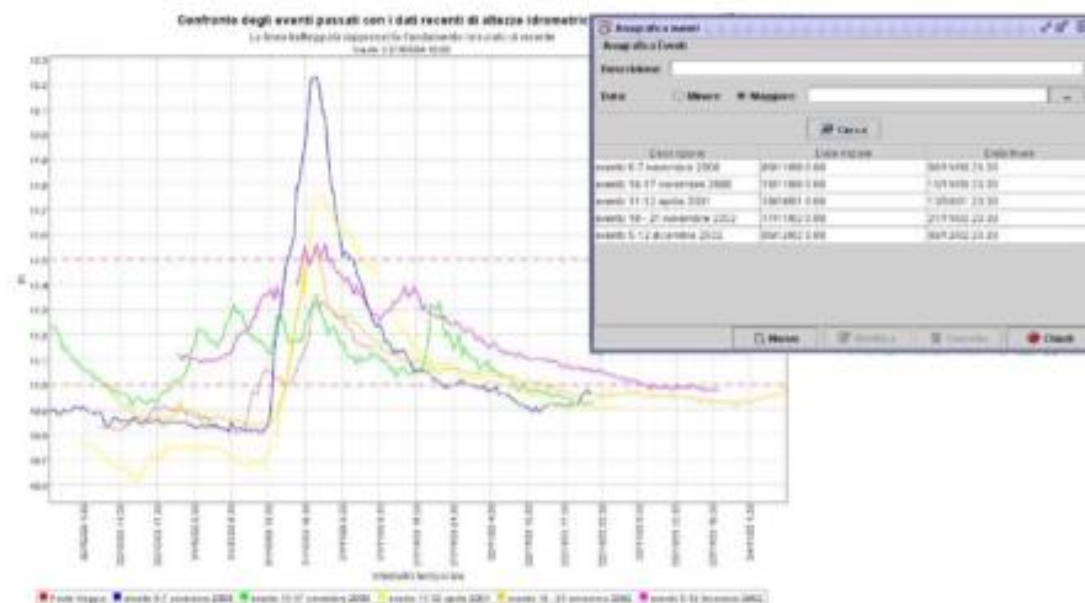
Ook kunnen dynamische modellen aangepast worden aan de verschillende fases van de overstroming. Elke gebruiker moet andere taken uitvoeren, afhankelijk van de fase. Deze taken kunnen via een dynamisch model eenvoudig gecommuniceerd worden.



Figuur 4: GIS interface (Foraci et al, 2005)

De verwerking van deze specifieke informatie gebeurt niet in een GIS. Bij dynamische modellen wordt GIS enkel gebruikt als een visualisatie *interface* (Foraci et al, 2005) waarin de gebruiker na de gegevensverwerking de specifieke informatie te zien krijgt, afhankelijk van de fase van de ramp en van de functie die hij moet vervullen. Deze gerichtheid is een groot voordeel ten opzichte van statische kaarten.

Binnen de categorie van de dynamische voorspellingsmodellen bestaan veel varianten. Heel wat overheden laten een model specifiek voor hun grondgebied ontwikkelen. Een recente evolutie binnen de dynamische modellen zijn de voorspellingsmodellen die werken in real-time. (Foraci et al, 2005) Deze modellen koppelen geodata aan real-time informatie over het weer. Deze informatie wordt continu vergeleken met reeds opgeslagen informatie, afgeleid uit vorige overstromingen. Wanneer de gemeten waarden overeenkomen met deze historische waarden, wordt een waarschuwingssysteem in werking gezet.



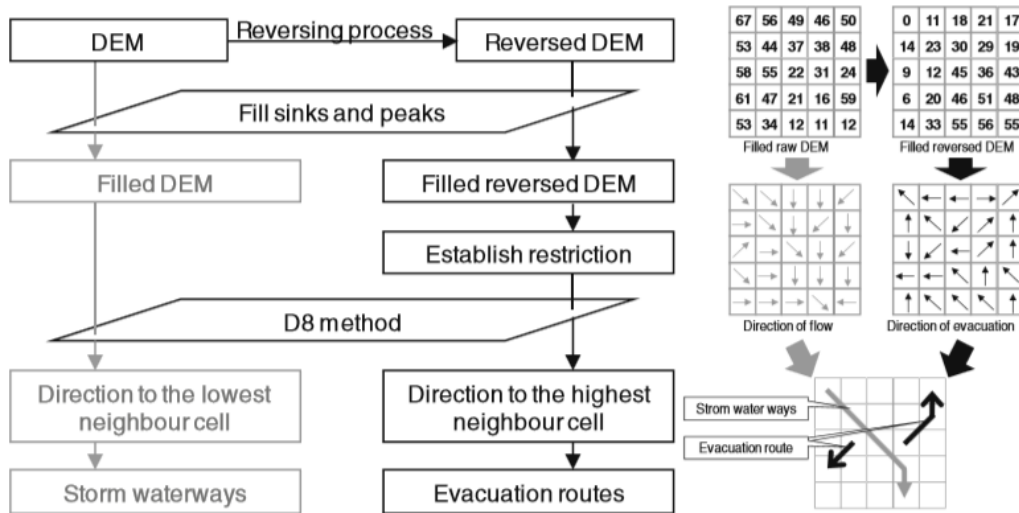
Figuur 5: Vergelijken van gemeten data met historische data (Foraci et al, 2005)

3.1.3 DTM-gebaseerde modellen

De werkwijze van deze modellen is totaal verschillend van de statische en dynamische. In de DTM-gebaseerde modellen wordt een overstromingsmodel opgesteld dat gebaseerd is op de topografie van het gebied. (Kim et al, 2011) Hier worden geen kwantitatieve maar wel kwalitatieve en expliciete criteria gebruikt. In plaats van te werken met concrete waarden voor de waterstand en de hoogtes van de punten, wordt in dit model gekeken naar de helling van het terrein om op deze manier de laag gelegen en hogere gebieden te identificeren. Zo wordt op een eenvoudige manier correcte informatie weergegeven. Dit is een groot voordeel tegenover dynamische simulaties die vaak te veel data en informatie nodig hebben om leesbaar te zijn.

Het model wordt op een eenvoudige manier gecreëerd. De methode start met een DTM van de omgeving, dat de topografie van het gebied weergeeft. Het gebied wordt daarna in cellen onderverdeeld, waarbij de steiltegraad van elke cel berekend wordt door deze te vergelijken

met de helling van de naburige cellen. Op deze manier kunnen de hoogst gelegen gebieden geïdentificeerd worden en evacuateroutes voor de bevolking opgesteld worden.



Figuur 6: Procedure om de neerslagroutes en evacuateroutes te bepalen (Kim et al, 2011)

Een nadeel van deze methode is het gebrek aan concrete en exacte informatie voor de verschillende diensten. Toch toont dit model een duidelijk overzicht van het gebied en geeft het duidelijk de mogelijke evacuateroutes en hoger gelegen plaatsen weer.

3.1.4 Tekortkomingen van de bestaande modellen

Alle overstromingsmodellen kampen met hetzelfde probleem: het leveren van accurate data bij overstromingen. De factoren die bepalend zijn voor de ramp, zijn zowel afhankelijk van de locatie als van de positie in de tijd. Hier schieten statische modellen al te kort. De resultaten van deze modellen tonen enkel de informatie op één ogenblik in de tijd. Wanneer nieuwe gegevens voorhanden zijn, moet een volledige nieuwe kaart gemaakt worden.

Dit proberen de dynamische voorspellingsmodellen op te vangen, door hun resultaten op verschillende tijdstappen van de overstroming te tonen. Door de complexiteit van deze ramp en het steeds veranderende verband tussen locatie en tijdstip, geven deze modellen slechts een vereenvoudigd beeld van de werkelijke overstroming. Hierop wordt verder ingegaan in het onderzoek.

DTM-gebaseerde modellen geven wel een zeer goed beeld van hoe het water zich zal verplaatsen en welke weg de overstroming zal afleggen. Door het gebrek aan kwantitatieve resultaten, blijven deze modellen enkel geschikt voor een eerste indruk en kunnen hier geen verdere berekeningen op gesteund worden.

Ook het kalibreren van de waarden en het begrijpen van de fysieke processen van het waterbassin zorgen bij alle modellen vaak voor problemen. (Bakhtyari Kia et al, 2012)

3.2 Het Belgische voorspellingsmodel

3.2.1 Methode

Voor alle Belgische rivieren wordt een zelfde overstromingsmodel gebruikt. Alhoewel de concrete uitwerking kan verschillen, zijn de modellen van de rivieren steeds op hetzelfde principe gebaseerd. Dit deelt het voorspellingsproces op in 2 delen: het hydrologische en het hydraulische model. Deze worden daarna, samen met een DTM, in een basismodel gegoten. Hierin worden de gebieden die onder water zullen staan en de bijhorende waterhoogte afgelezen. Dit model vormt de grondslag voor verdere schadeberekeningen.

3.2.1.1 Hydrologisch model

Het eerste onderdeel, het hydrologisch model, beschrijft het neerslagdebiet dat in de hoofdriever terechtkomt. (Ecorem-Haecon, 2002) Naast de hoeveelheid water is ook de weg die het water aflegt voor het in de rivier terechtkomt van belang. Deze weg omvat zowel de zijrivieren als de omliggende terreinen die de hoofdriever omsluiten. De omgevingsfactoren, zoals de topografie en het landgebruik, worden in dit model ook in rekening gebracht.

Er zijn heel wat gegevens nodig om een correct hydrologisch model op te stellen. Ten eerste moeten de hoeveelheden water die het stroombekken binnenkomen en verlaten berekend worden. Dit gebeurt met behulp van gegevens uit metingen met pluviografen, limnigrafen en uit grondwaterpeilputten. (Ecorem-Haecon, 2002) Met de pluviografen wordt de hoeveelheid neerslag die in het stroombekken valt, opgemeten en met de limnigrafen het waterpeil in het gebied. De peilputten leveren waarden voor de grondwaterstand op. Naast de neerslaggegevens zijn ook de omgevingsfactoren, zoals de helling van het gebied, het landgebruik, de doorlaatbaarheid van de grond en het bodemtype, belangrijk.

Deze informatie wordt verwerkt via een globaal modelconcept, dat bepaalt hoe de verschillende gegevens in rekening gebracht worden. Figuur 7 toont een schematische voorstelling van het concept. Hier is duidelijk zichtbaar dat er verschillende processen meespelen. Niet enkel de afstroming van het water is belangrijk, ook de infiltratie in de bodem en de verdamping moeten in rekening gebracht worden.



Figuur 7: Globaal modelconcept hydrologisch model (Ecorem-Haecon, 2002)

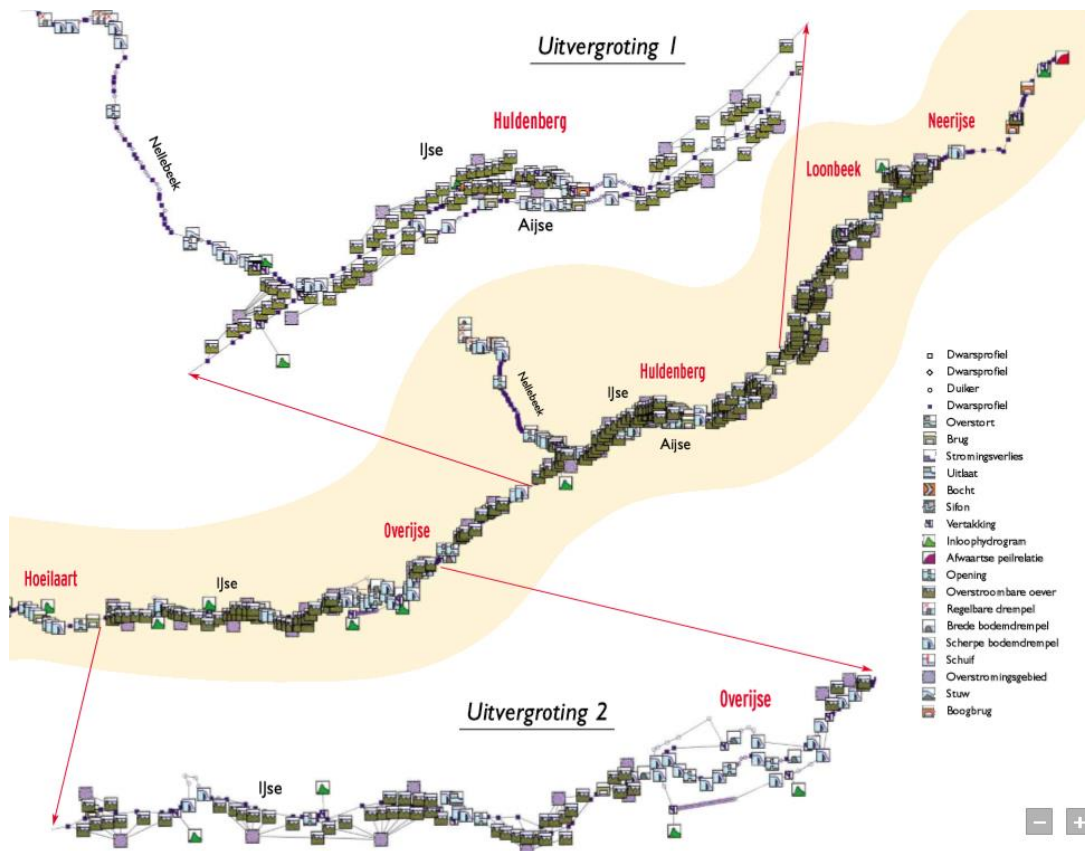
Alle informatie wordt in een inloophydrogram geplaatst. (Cauwenberghs, 2012) Deze grafiek geeft het verband tussen de neerslag en de afvoer weer. Omdat de afvoer zowel afhankelijk is van de neerslag als van de topografie, wordt het volledige onderzoeksgebied opgedeeld in deelgebieden. Voor elk deelgebied wordt een apart inloophydrogram opgesteld.

Om een nauwkeurig resultaat te bekomen, worden de berekende inloophydrogrammen vergeleken met metingen van waargebeurde afvoeren. Deze ijking is noodzakelijk om een waarheidsgetrouw resultaat te bekomen.

3.2.1.2 Hydraulisch model

In het hydraulisch model worden de fysische eigenschappen van de rivier zelf nagebootst. (Ecorem-Haecon, 2002) De bestaande toestand wordt gemodelleerd door gebruik te maken van riviergegevens zoals dwarsprofielen en afmetingen van bruggen, duikers en stuwen. Ook het gebied dat onder water kan staan, wordt afgebakend. Naast deze riviergegevens worden ook de instroomdebieten, berekend uit het hydrologisch model, ingevoerd.

Het stroomgebied wordt in waterlooptakken opgedeeld, bepaald door enkel knooppunten. Zo'n knooppunt is een rekenpunt van het computermodel, die zowel de snelheid van het water als de waterhoogte in dat punt bevat. Ook eventuele externe randvoorwaarden, zoals de afmetingen van bruggen en duikers, worden ingevoerd. Nadat deze bestaande toestand gemodelleerd is, worden de effecten van verbeteringswerken gesimuleerd per waterlooptak.



Figuur 8: Hydraulisch model van de IJse (Ecorem-Haecon, 2002)

Aangezien het model enkel opgebouwd wordt door randvoorwaarden, dient het met behulp van resultaten uit concrete metingen geïjkt en gevalideerd te worden. De gebruikte metingen hiervoor zijn zowel afkomstig van een normale situatie als van een periode met hevige neerslag. Indien er geen metingen gebeurd zijn in dit laatste geval, wordt een zware regenval gesimuleerd op basis van de metingen afkomstig van een normale situatie.

Dit model kan na de ijking gebruikt worden voor scenarioanalyse. Verschillende scenario's om de gevolgen van wateroverlast te beperken, worden opgesteld en nagebootst in het model. Een vergelijking van de situatie voor en na de ingrepen maakt de analyse compleet. Voor het opstellen van het scenario wordt een historische storm als referentie gebruikt, waarna telkens een storm gesimuleerd wordt, met terugkeerperiodes van 5, 10, 25, 50 en 100 jaar.

3.2.1.3 Basismodel

Nadat het hydrologisch en het hydraulisch model opgesteld zijn, worden deze samen met een DTM van het terrein in een GIS ingevoerd. (ARCADIS Belgium NV, 2011) Hier worden de overstromingscontouren van het overstromingsgebied, zoals bepaald in de voorgaande modellen, samengevoegd met het DTM om op deze manier de waterpeilen voor een basisscenario te berekenen.

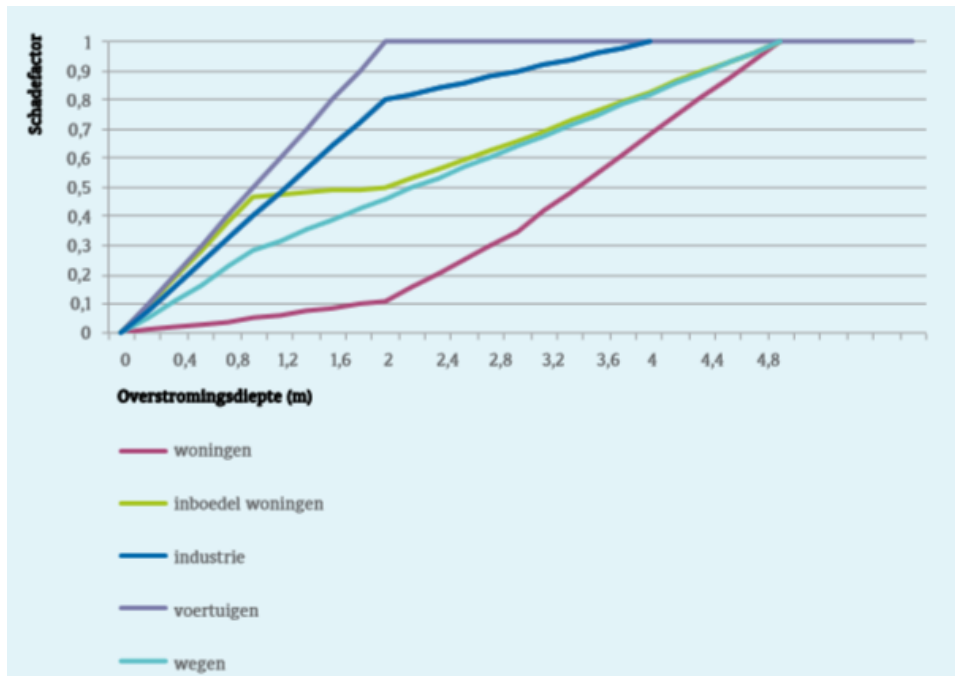
In België wordt gebruik gemaakt van een basisscenario voor een storm van 100 jaar. Het overstroomd volume dat hiermee overeenkomt, wordt bepaald met de GIS-tool *Spatial Analyst*. Hieruit worden de contouren en de waterpeilen van het overstroomd volume gehaald. Deze worden in een overstromingskaart gegoten.

3.2.1.3.1 Schade- en impactberekeningen

De overstromingskaart is in vele gevallen geen einddoel, maar een tussenstap in de berekeningen. Wanneer de overstromingsgebieden bepaald zijn, kunnen verbeteringswerken voorgesteld worden. Deze scenariostudies werden in paragraaf 3.2.1.2 reeds besproken. De schade en impact van de overstroming op een bepaald gebied kunnen ook onderzocht worden. Wanneer deze gering zijn, zullen verbeteringswerken in vele gevallen onnodig zijn.

3.2.1.3.2 Economische schade

De economische schade wordt bepaald door het opstellen van een schadefunctie. (ARCADIS Belgium NV, 2011) Deze functie is een grafiek die geschikt is voor één bepaald type bodemgebruik. De grafiek geeft een verhouding tussen enkele overstromingsparameters weer. Uit de grafiek kan het waardeverlies afgelezen worden. Dit waardeverlies wordt ook de schadefactor genoemd. Bij het berekenen van de economische schade wordt de geschatte waarde van de bodemgebruiktypes vermenigvuldigd met deze schadefactor. Zo zal de schade aan een auto met een geschatte waarde van 10 000 euro bij een waterstand van 0,4 m volgens deze schadefunctie zo'n 3 000 euro bedragen, want de schadefactor is in dit geval geschat op 0,3.



Figuur 9: Schadefactor voor verschillende bodemgebruiktypes (ARCADIS Belgium NV, 2011)

Concreet betekent dit dat eerst een landgebruikskaart voor het te onderzoeken gebied wordt opgesteld. Deze kaart geeft weer welk type landgebruik (gebouwen, wegen, bossen...) zich op een bepaalde locatie bevindt. Die kaart wordt gecombineerd met de waterdieptekaart, die uit het basismodel kan gehaald worden, en met de schadefuncties. Het resultaat is een kaart met de ruimtelijke spreiding van de te verwachten schade.

3.2.1.3.3 Sociale schade

De sociale schade is moeilijker in te schatten en wordt bepaald met behulp van de *Social Flood Impact Tool*. (ARCADIS Belgium NV, 2011) Deze methode berekent de sociale schade door middel van drie parameters: (i) de blootstellingsindex, (ii) de vatbaarheid van een persoon en (iii) het adaptatievermogen van een persoon. Deze parameters krijgen allen een waarde. De combinatie van deze waarden geeft een totale waarde tussen 0 en 1 voor elke persoon in het getroffen gebied, waarbij 1 een zeer grote sociale schade is.

3.2.2 Software

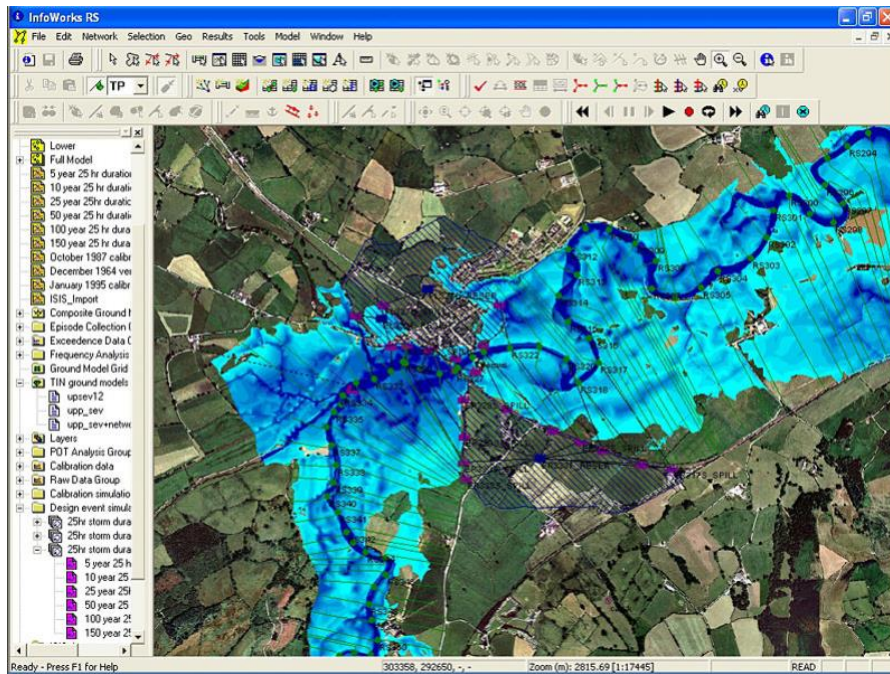
3.2.2.1 Overzicht

Er bestaat een groot aanbod van software die het volledige proces van de overstromingsvoorspelling omvat. De meest gebruikte commerciële software zijn InfoWorks RS, Mike 11 en SOBEK, maar er zijn ook enkele niet-commerciële alternatieven zoals Hec-Ras, Basement en Kalypso. (I. Rocabado [Antea Group], persoonlijke communicatie, 19 februari 2013) Deze software voert de nodige berekeningen grotendeels automatisch uit.

3.2.2.1.1 InfoWorks RS

InfoWorks RS (IWRS) is de opvolger van de ISIS modeleersoftware, die de steeds grotere modellen niet meer kon verwerken. Gebruikers kiezen steeds meer voor een groter onderzoeksgebied en een hogere graad van detail. Daarom combineert IWRS de ISIS Flow simulatiemachine met een geografische analyse en een relationele database, geschikt voor een uitgebreide gegevensopslag. (Innovyze, 2008)

Het resultaat is een accuraat tweedimensionaal model van de belangrijkste elementen van het riviersysteem. Interactieve visualisaties tonen op eenvoudige wijze de gegevens op verschillende tijdstippen. De onderliggende data is toegankelijk vanuit deze grafische weergave.



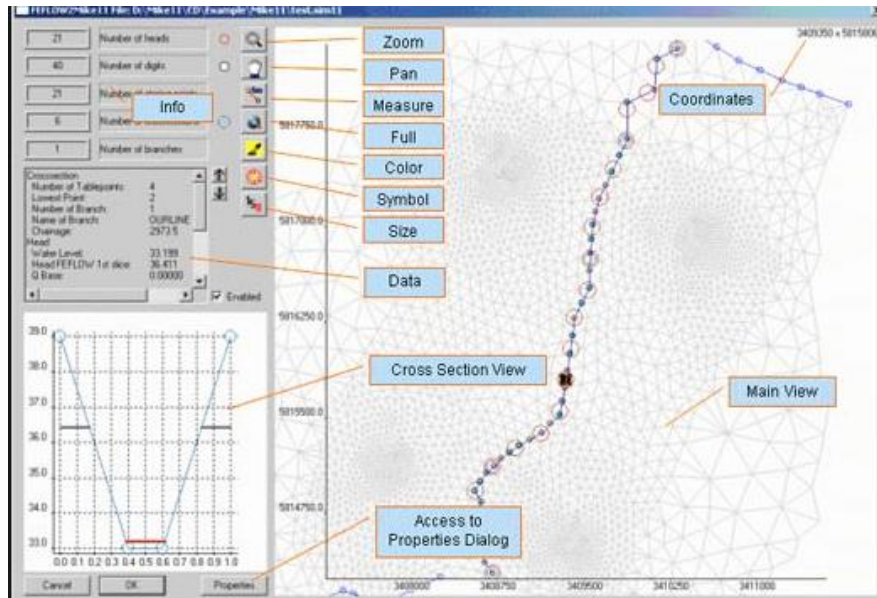
Figuur 10: Infoworks RS gebruikersinterface: overstroomde gebieden (Innovyze, 2013)

InfoWorks RS is één van de meest geavanceerde en gedetailleerde overstromingssoftware op de markt. In het onderzoek wordt de werkwijze van deze software gebruikt als referentie voor de methode van de bestaande voorspellingssoftware.

3.2.2.1.2 Mike 11

Mike 11 is een modelleringssoftware van Deense makelij. De Danish Hydraulic Institute (DHI) for Water & Environment heeft dit eendimensionaal overstromingsmodel vormgegeven, naar goedkeuren van de Deense overheid. Tegenwoordig wordt Mike 11 door heel wat overheden, onder andere de Amerikaanse, gebruikt. (DHI, 2011)

De software voorziet volgende toepassingen: een overstromingsanalyse van het gebied, een real-time overstromingsvoorspelling, analysemogelijkheden voor het breken van een dam, het evalueren van structurele aanpassingen, de evaluatie van de waterkwaliteit en het zoutgehalte in het water en de analyse van de sedimentverplaatsingen.

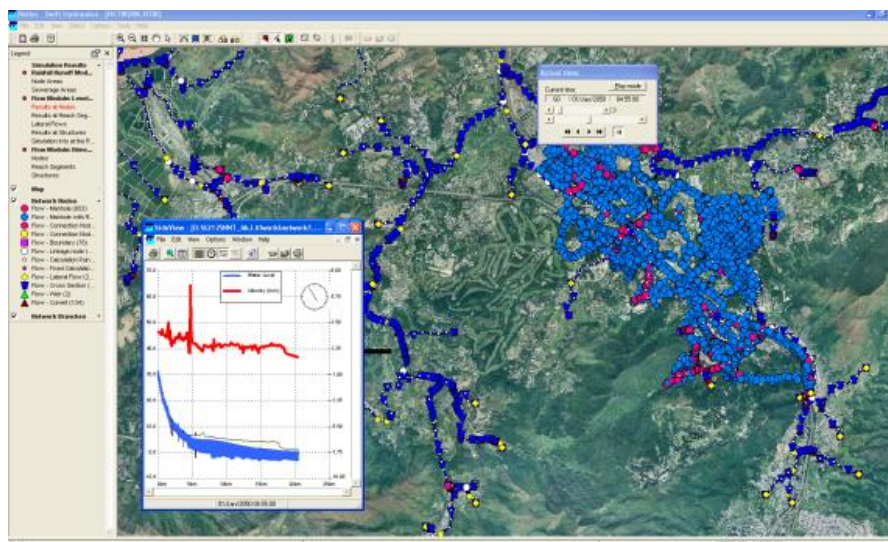


Figuur 11: Mike 11 gebruikersinterface: hydraulisch model en dwarsdoorsnede waterloop (DHI, 2011)

De software staat bekend om haar uitgebreide interfacemogelijkheden. Met behulp van een interactief menu systeem en systematische lay-outs, is Mike 11 zeer gebruiksvriendelijk.

3.2.2.1.3 SOBEK

SOBEK is een modelleerpakket dat zich toespitst op het voorspellen van overstromingen, de optimalisatie van drainage systemen, de controle van irrigatiesystemen, de riviermorphologie, de kwaliteit van het oppervlaktewater en de zoutindringing. Fysische processen en complexe stromingen worden op een accurate manier zowel in een eendimensionaal netwerkstelsel als in een tweedimensionaal horizontaal raster berekend. (Deltares, 2012)

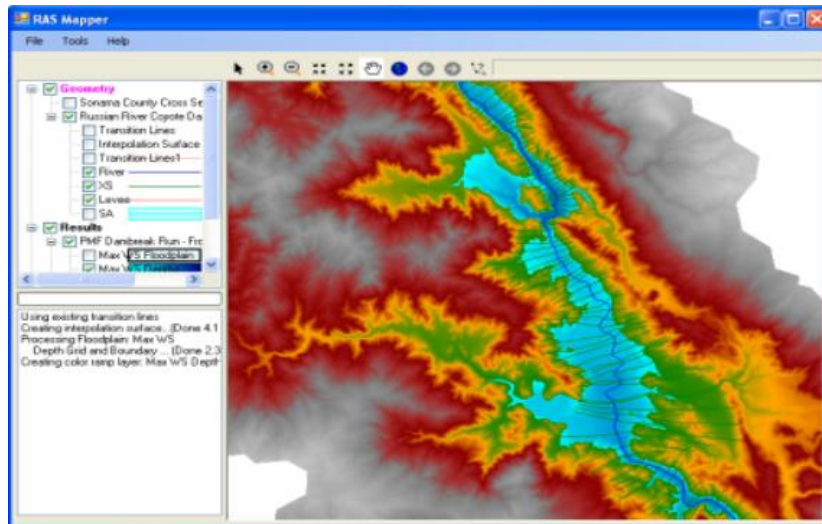


Figuur 12: SOBEK gebruikersinterface: hydraulisch model (Deltares, 2012)

Deze uitgebreide overstromingssoftware is ontwikkeld door Nederlandse overheidsinstellingen in samenwerking met universiteiten en private consulten. SOBEK wordt dan ook vooral in Nederlandse projecten veel gebruikt.

3.2.2.1.4 Hec-Ras

Hec-Ras (Hydraulic Engineering Center's River Analysis System) is gespecialiseerd in het uitvoeren van eendimensionale hydraulische modellen. De software spitst zich toe op vier analysecomponenten: berekeningen van het wateroppervlak bij een constante stroming, berekeningen bij een niet-constante stroming, berekeningen van de sedimentverplaatsingen en de analyse van de waterkwaliteit. (Hydraulic Engineering Center, 2008)

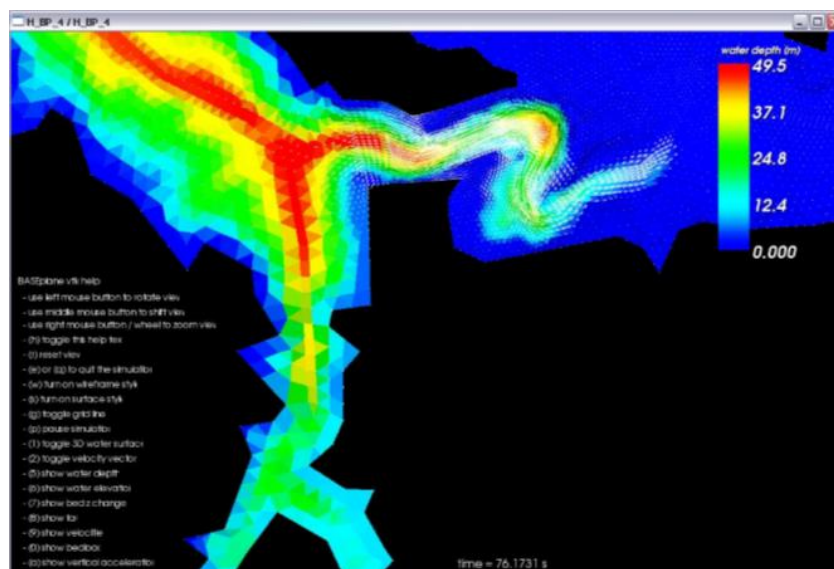


Figuur 13: Hec-Ras gebruikersinterface: RAS Mapper (Hydraulic Engineering Center, 2008)

Overstromingskaarten worden direct uit de resultaten van deze analyses opgemaakt. Ook worden datasets met de uiterste grenswaarden aangemaakt via de RAS Mapper, op basis van gegevens van de geometrie, de wateroppervlakken, de waterdieptes en de overstromingsgebieden. De RAS Mapper is te zien op Figuur 13.

3.2.2.1.5 Basement

Basement staat voor Basic simulation environment for computation of environmental flow and natural Hazard simulation en is ontwikkeld door het Zwitserse Federal Institute of Technology in Zurich. (ETH, 2010)

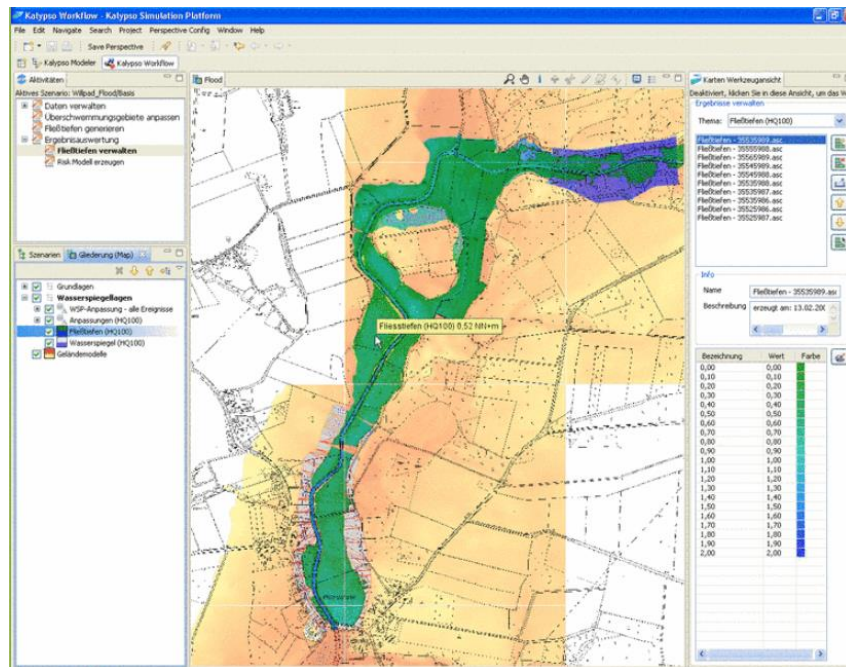


Figuur 14: Basement gebruikersinterface: overzicht overstromende gebieden 2D (ETH, 2010)

Basement is een numerieke simulatiesoftware voor het berekenen van overstromingsgevaar en het risico op andere bijkomende natuurrampen zoals erosie. De applicatie kan zowel in één dimensie als in twee dimensies modelleren.

3.2.2.1.6 Kalypso

Kalypso is opgebouwd uit 6 modules. De eerste drie zijn numerieke simulatiemodules en worden gebruikt bij berekeningen van niet-constante gekoppelde eendimensionale (1D) en tweedimensionale (2D) stromingen van oppervlaktewater. Verschillende modellen, zowel 1D als 2D, worden serieel aan elkaar gekoppeld. Hierbij worden de randvoorwaarden gedeeld door de beide modellen. (Björnson Beratende Ingenieure GmbH, 2013)



Figuur 15: Kalypso gebruikersinterface: overstromde gebieden (Björnson Beratende Ingenieure GmbH, 2013)

Daarnaast zijn er twee modules die geschikt zijn voor de voorspelling van complexe overstromingen en rampen. De laatste module kan ingezet worden bij het bepalen van een geschikte evacuatie strategie.

3.2.2.2 De rol van geografische informatiesystemen (GIS)

In het volledige voorspellingsproces speelt GIS op drie belangrijke punten een rol. (I. Rocabado [Antea Group], persoonlijke communicatie, 19 februari 2013) Doordat de software die in paragraaf 3.2.2 besproken werd integrale modellersystemen zijn, moet de gebruiker niet over een uitgebreide GIS-kennis beschikken. De bewerkingen worden automatisch door de software uitgevoerd en de gebruiker krijgt enkel het resultaat te zien. Om het belang van GIS voor voorspellingssystemen te duiden, wordt de rol ervan in de modellersystemen hier besproken.

Het hydraulische model is een opeenvolging van knooppunten, die informatie bevatten over het waterpeil en de snelheid van het water. Ze bevatten echter geen geografische informatie. De knooppunten, en dus ook de rivier, kunnen in feite overal gelegen zijn. Hier komt GIS een eerste keer van pas. De informatie van de knooppunten wordt gegeocodeerd. Deze

geocodering dient voornamelijk om de gebruiker een indicatie te geven van de omliggende geografie.

GIS wordt een tweede maal toegepast bij het afleiden van de geometrische kenmerken van de rivier. Het hydraulische model voorziet enkel gegevens voor een beperkt aantal punten. Afstanden tussen deze dwarsprofielen en de afgelegde weg kunnen bepaald worden met behulp van een GIS.

Tenslotte wordt het resultaat van de volledige methode ook in een GIS weergegeven. De waarden, zoals bepaald in het hydraulisch model, worden omgezet naar kaarten. Wanneer een waterpeil bepaald is, duidt een GIS alle gebieden aan die in dit geval onder water staan. Dit zijn de overstromingskaarten van het onderzochte gebied.

3.2.2.3 Bespreking

De laatste 15 jaar zijn de overstromingsvoorspellingsmodellen zeer sterk geautomatiseerd en geperfectioneerd. (I. Rocabado [Antea Group], persoonlijke communicatie, *19 februari 2013*) Nu dient de gebruiker enkel de gegevens in te voeren. De software berekent dan zowel het hydrologische model als het hydraulische model volledig automatisch. De gebruiker krijgt een weergave van de overstromingsgebieden te zien.

Zoals besproken in paragraaf 3.2.2.2, gebeuren de berekeningen niet volledig in een GIS. Dit is nochtans wel mogelijk. De nodige informatie voor het opstellen van een systeem is beschikbaar in kaarten die bruikbaar zijn in GIS. Er zou dus een overstromingsvoorspellingsmodel gecreëerd kunnen worden dat enkel gebruik maakt van GIS. Maar door de automatisering van de reeds bestaande systemen, is er geen nood aan een nieuw systeem. De beschikbare software voldoet aan de eisen en is zeer gebruiksvriendelijk.

Toch kent het systeem één belangrijke tekortkoming. (I. Rocabado [Antea Group], persoonlijke communicatie, *19 februari 2013*) Overstromingsvoorspellingskaarten gaan ervan uit dat de overstroming begint vanuit de laagst gelegen punten van het gebied. Dit zijn niet altijd de oevers van de rivier. In werkelijkheid kan het vullingspatroon van een overstromingsgebied volledig anders zijn. Een overstroming begint bij de oever van een rivier, en vanuit deze inlaatlocatie zal het water naar de laagst gelegen punten stromen. Een voorspellingskaart is dus wel een correcte weergave van de totale omvang van de overstroming, maar het verloop van de overstroming wordt niet accuraat in beeld gebracht. Laaggelegen gebieden die niet langs de rivier gelegen zijn, zullen pas overstromen wanneer het water van de rivier deze plaatsen bereikt.

4 Probleemstelling


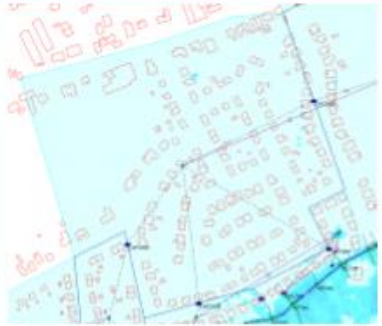



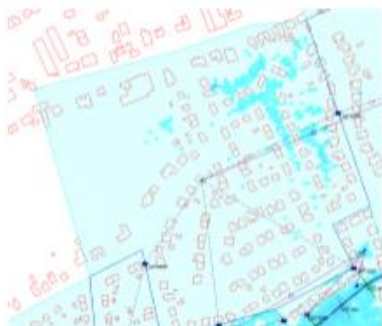

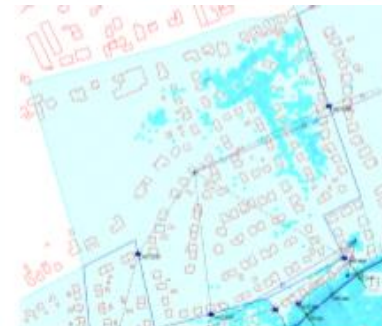

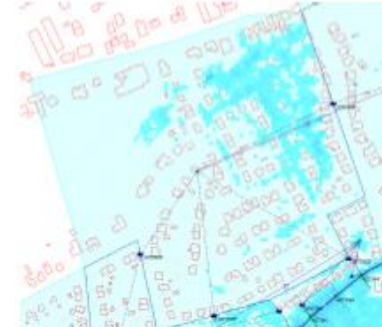
Uit paragraaf 3 blijkt dat er heel wat verschillende modellen op de markt zijn om overstromingen te voorspellen. Deze modellen werken zeer nauwkeurig en zijn voor een groot deel geautomatiseerd. Er is dus geen nood aan een volledig nieuw voorspellingsmodel. Toch is de werkwijze van het bestaande Belgische model niet foutloos.


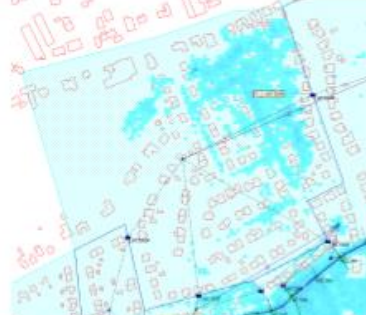

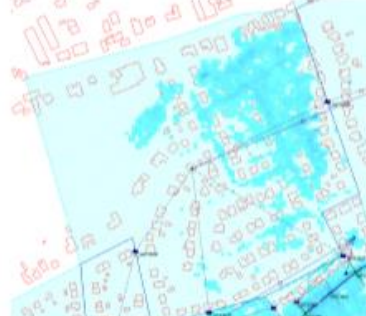

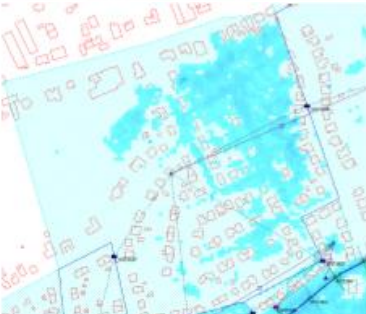

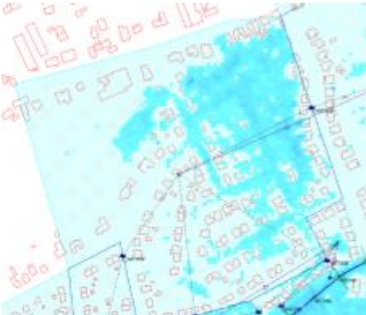

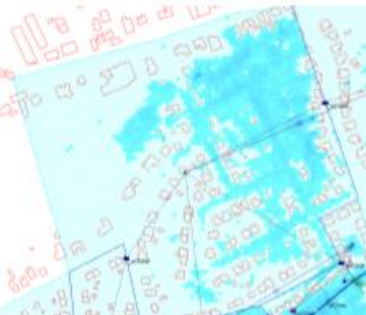
Een overstromingsvoorspellingskaart, het resultaat van een voorspellingsmodel, geeft een correct beeld van de gebieden en de uiteindelijke omvang van de overstroming na de ramp, maar zegt niets over de wijze waarop het water zich verplaatst tijdens de ramp. De locaties gelegen langs het traject dat het water aflegt zullen heel wat water te verwerken krijgen, terwijl dit niet blijkt uit voorspellingskaarten.

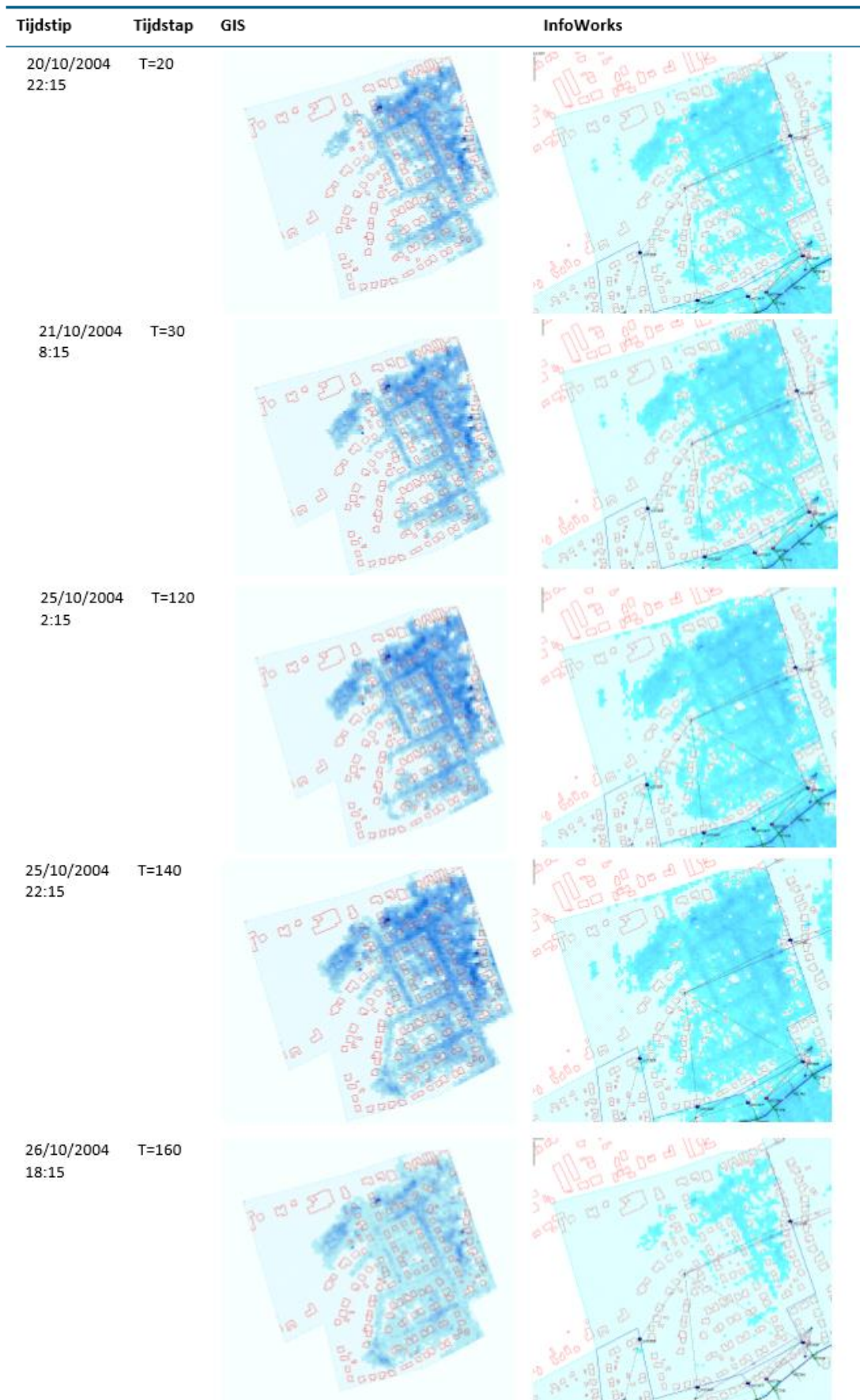
In de tabel in Figuur 16 worden voor elk tijdstip van de overstroming de bijhorende overstromingskaarten getoond. De linker kaarten tonen de werkelijke overstroming die begint bij de inlaatpunten gelegen langs de rivier en zich verspreidt naar de laagst gelegen gebieden. De rechter kaarten geven het verloop van de ramp volgens het voorspellingsmodel Infoworks RS weer. Deze geautomatiseerde software berekent welke gebieden lager dan de waterstand liggen en kleurt deze in als 'overstroomd'. Het resultaat op tijdstip $T=120$ is voor beide werkwijzen ongeveer gelijk, maar het zijn andere gebieden die gedurende de overstroming het meeste water te verwerken krijgen.

Op het ogenblik dat de overstroming zich terugtrekt, komt een tweede fout aan het licht. Doordat IWRS enkel berekent welke gebieden onder de waterstand liggen, zonder rekening te houden met waar deze gebieden zich bevinden ten opzichte van de rivier, zal de software nu het water op alle plaatsen laten dalen. Dit klopt echter niet. Wanneer een overstroomd laaggelegen gebied niet meer verbonden is met de rivier, ontstaat een plas. Het water kan niet terug naar de rivier en moet dus in de grond dringen. Dit water zal veel trager verdwijnen dan aangegeven wordt door IWRS. Figuur 16 toont aan dat in werkelijkheid, op tijdstip $T=160$ een veel groter gebied nog steeds onder water staat dan de huidige software doet uitschijnen.

Het werkelijke verloop van een overstroming is dus anders dan software zoals IWRS doet uitschijnen. Een juiste weergave is nochtans belangrijk voor het beheer tijdens een ramp. Evacuatieroutes worden bijvoorbeeld berekend aan de hand van de resultaten van deze software. Deze zullen sommige gebieden veel sneller als 'overstroomd' bestempelen dan in werkelijkheid het geval zal zijn. Deze regio's zullen dus te snel geëvacueerd worden en eventuele evacuatieroutes zullen niet via deze gebieden lopen.

Tijdstip	Tijdstap	GIS	InfoWorks
20/10/2004 3:15	T=1		
20/10/2004 4:15	T=2		
20/10/2004 5:15	T=3		
20/10/2004 6:15	T=4		
20/10/2004 7:15	T=5		

Tijdstip	Tijdstap	GIS	InfoWorks
20/10/2004 8:15	T=6		
20/10/2004 9:15	T=7		
20/10/2004 10:15	T=8		
20/10/2004 11:15	T=9		
20/10/2004 12:15	T=10		



Figuur 16: Vergelijking van het Infoworks RS-model met de GIS-aanpak (I. Rocabado [Antea Group], persoonlijke communicatie, 19 februari 2013)

5 Afbakening onderzoeksveld en doelstellingen

In deze masterproef werden de mogelijkheden onderzocht om met een GIS het vullingspatroon van een overstroming correct voor te stellen. De doelstelling van het onderzoek was tweeledig: ten eerste het genereren van een simulatie van de werkelijkheid via de inlaatpunten van de overstroming langs de oever en ten tweede, het ontwikkelen van een beslissingsondersteunende tool in GIS dat op een automatische wijze overstromingsvoorspellingskaarten genereert en dit voor verschillende tijdstippen van de overstroming. Door per tijdstap van de overstroming een kaart aan te maken waarop de werkelijk overstroomde gebieden weergegeven zijn, wordt de weg die het water volgt vanaf de rivier tot de laagste punten correct weergegeven. Ook de wijze waarop het water terugtrekt en de plassen die hierbij ontstaan, worden waarheidsgetrouw in beeld gebracht.

6 Onderzoek

6.1 Inleiding

In dit onderdeel wordt stap voor stap uitgelegd hoe de beslissingsondersteunende tool tot stand kwam. In paragraaf 6.2 wordt kort ingegaan op de *casestudy*, de rivier de IJzer. Deze waterloop is gebruikt om de tool te testen en te creëren. In paragraaf 6.3 wordt dan stap per stap de werking van de beslissingsondersteunende tool uitgelegd. Voor elke stap wordt eerst het doel en de werkwijze van de stap besproken. Daarna wordt dieper ingegaan op het script, samen met de gebruikte commando's en het resultaat van de tussenstap.

Voor het creëren van de GIS tool werd gebruik gemaakt van ArcGIS 10.1. Dit is een geavanceerde en toegankelijke GIS software die zowel door de overheid als in de private sector toegepast wordt voor uiteenlopende toepassingen.

Om de tool te automatiseren, werd gebruik gemaakt van Python. Dit is een programmeertaal die reeds aanwezig is in ArcGIS 10.1 zelf. De module *arcpy* beschikt over een ruim gamma van commando's die specifiek dienen om te programmeren in ArcGIS 10.1. In deze recentste versie van de software is de *arcpy*-module heel sterk uitgebreid. De commando's werden gebruikt bij het opstellen van een script, dat nadien in ArcGIS 10.1 ingevoegd werd als een tool. Een gebruiker kan daardoor het model gebruiken zonder over een uitgebreide GIS-kennis te beschikken.

Het script werd geschreven in Pyscripiter, een programma dat meteen ook de correctheid van de geschreven code controleert waardoor fouten snel gedetecteerd worden.

De input voor de voorspellingskaarten is bepaald door het Belgische voorspellingsmodel en beschreven in paragraaf 3.2. Voor elk tijdstip van de overstroming worden de bijhorende waterhoogte en stroomsnelheid gegeven. In combinatie met een DTM van het onderzoeksgebied en de rivier, zoals bepaald in het Grootchalig Referentiebestand (GRB), worden deze overstromingsgegevens gebruikt om de overstroomde gebieden te bepalen.

6.2 Casestudy: rivier de IJzer

6.2.1 Algemene informatie

Om de tool te testen wordt de IJzer gebruikt als *casestudy*. Met zijn lengte van 78 km, waarvan 45 km in België gelegen is, is deze waterloop één van de drie belangrijkste rivieren die België doorkruisen, samen met de Schelde en de Maas. Het Belgische gedeelte van het stroomgebied, gelegen in het noordwesten van het land, beslaat ongeveer 723 km². De totale oppervlakte van het stroomgebied bedraagt 1101 km². (Vlaams Instituut voor de zee [VLIZ], 2013)

De IJzer is een typische laaglandrivier met een lage stroomsnelheid, doordat de rivier een zeer klein verhang heeft. Vanaf de Frans-Belgische grens tot aan de kust bedraagt dit verhang slechts 0,1 m/km. Het gemiddelde debiet van de IJzer varieert van 0,8m³/s in de zomer tot 5,7m³/s in de wintermaanden. (VLIZ, 2013)

De breedte van de waterloop varieert van 8 à 10 m aan de Frans-Belgische grens tot 20 à 25 m aan de monding in Nieuwpoort. Niet alle steden langs de IJzer zijn reeds opgenomen in het GRB. De opmetingen voor deze dataset zullen pas compleet zijn in 2014. In steden die nog niet opgenomen zijn in het GRB, zoals Diksmuide, kan tijdelijk met de Vlaamse Hydrografische Atlas (VHA) gewerkt worden. In dat geval wordt gebruik gemaakt van een gemiddelde rivierbreedte, die door de gebruiker zelf bepaald moet worden. Meer uitleg hierover volgt in paragraaf 6.3.1.

6.2.2 Beschikbare informatie en simulatiedatasets

Via het Agentschap voor Geografische Informatie Vlaanderen (AGIV) zijn de nodige datasets verkregen. De waterloop zelf is terug te vinden in het GRB. De rivier is in deze dataset opgeslagen als een polygoon, in de *shapefile* "GRB_Wtz_watergang.shp". Aangezien de breedte van de rivier van belang is voor de beslissingsondersteunende tool, is deze dataset de beste keuze. Ook worden niet enkel de waterlopen opgeslagen in deze *shapefile*, maar ook de stilstaande wateroppervlakken. Wanneer deze tool op een grotere schaal toegepast wordt, is dit zeer handig om een correct beeld te krijgen van alle overstroomde gebieden.

Voor gebieden die nog niet opgenomen zijn in het GRB kan gewerkt worden met de VHA, dit is een *shapefile* met lijnen die informatie geeft over onder andere de bevaarbaarheid van het water, het stroombekken, de kwaliteit van het water en de diepte. Aangezien de rivier slechts weergegeven is door één lijn, is de breedte onbekend. Daarom zal een gemiddelde breedte toegepast worden. Hierover volgt in paragraaf 6.3.1 meer.

Een tweede dataset is het DTM van de omgeving van de rivier. Dit zijn zeer zware bestanden met miljoenen hoogtepunten in. Omdat de computer, waarop dit script getest wordt, veel problemen vertoonde met laden en verwerken van deze zware bestanden, is ervoor gekozen om het onderzoeksgebied te verkleinen. Het script dat geschreven werd, is niet gebonden aan de plaats of grootte van het gebied. De tool is zo opgesteld dat ze ook voor meerdere rivieren en grotere gebieden inzetbaar is. Daardoor speelt de exacte grootte en positie van het testgebied geen rol.

Toch was bij het kiezen van een onderzoeksgebied enige voorzichtigheid nodig. Omdat de informatie zich enkel beperkte tot hoogtepunten, was het aangeraden deze informatie ook af te toetsen met satellietbeelden, zodat de achterliggende informatie tevoorschijn kwam. Zo waren er voor sommige gebieden heel weinig hoogtepunten voorhanden. Wanneer diezelfde regio via Google Maps bekeken werd, bleken dit spaarbekkens of zijrivieren te zijn. In Figuur 17 en Figuur 18 wordt dit geïllustreerd.

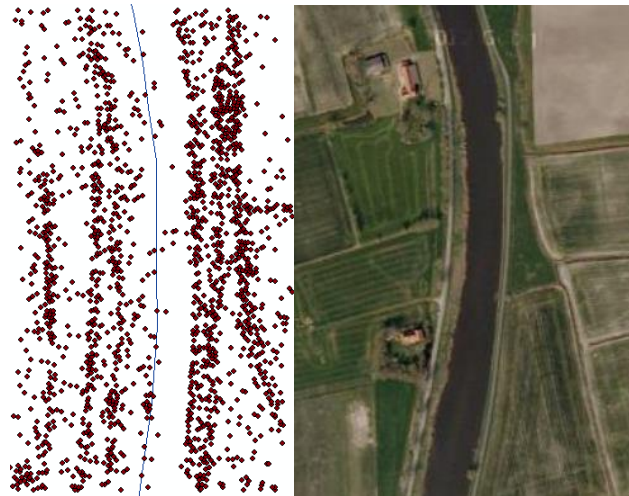


Figuur 17: Vergelijking van een DTM in ArcGIS en Google Maps satellietbeelden van een spaarbekken langs de IJzer



Figuur 18: Vergelijking van een DTM in ArcGIS en Google Maps satellietbeelden van splitsing en bocht van de IJzer

Het gekozen onderzoeksgebied is gelegen op de grens tussen Nieuwpoort en Middelkerke en is een buffer van 60 m langs de IJzer en is een gebied met een goede, gelijkmatige verdeling van de hoogtepunten. Zoals te zien is op Figuur 19 wordt het gebied naast de waterloop voor een groot deel ingenomen door velden. Enkel op de linkeroever zijn twee woningen gelegen. De ligging van het onderzoeksgebied is te zien op Figuur 20.



Figuur 19: Vergelijking van de DTM in ArcGIS en Google Maps satellietbeelden van het onderzoeksgebied langs de IJzer



Figuur 20: Ligging onderzoeksgebied (rode kader)

De exacte informatie die uit een hydraulisch model gehaald kan worden, zoals uitgelegd in paragraaf 3.2.1.2, kon wegens eigendomsrechten niet bekomen worden voor de rivier. Daarom werd een datatabel met fictieve waarden opgesteld. Deze is volgens de resultaten van het hydraulisch model opgesteld. Per tijdstap van de overstroming wordt een waterhoogte en een stroomsnelheid gegeven. In dit onderzoek werd ervan uitgegaan dat deze waarden voor elk punt van de rivier dezelfde zijn. Dit wordt in paragraaf 6.4 besproken.

De normale waterstand van de IJzer is volgens de Tweede Algemene Waterpassing (TAW) gemeten op 3,14 m. (VLIZ, 2013) Deze hoogte werd gebruikt als basiswaarde voor de overstroming, alle waarden liggen dus hoger dan deze hoogte. Omdat het onderzoeksgebied een kleine oppervlakte beslaat, zijn de stroomsnelheden heel laag gehouden. Wanneer hogere, waarheidsgetrouwe snelheden gehanteerd zouden worden, zou de afstand die het

water aflegt in één tijdstap groter zijn dan de afstand van de rivier tot de rand van het onderzoeksgebied.

Er zijn slechts vier tijdstappen in de datatabel opgenomen, om de tool gemakkelijk en snel te kunnen testen. In Tabel 1 zijn de gebruikte fictieve gegevens terug te vinden.

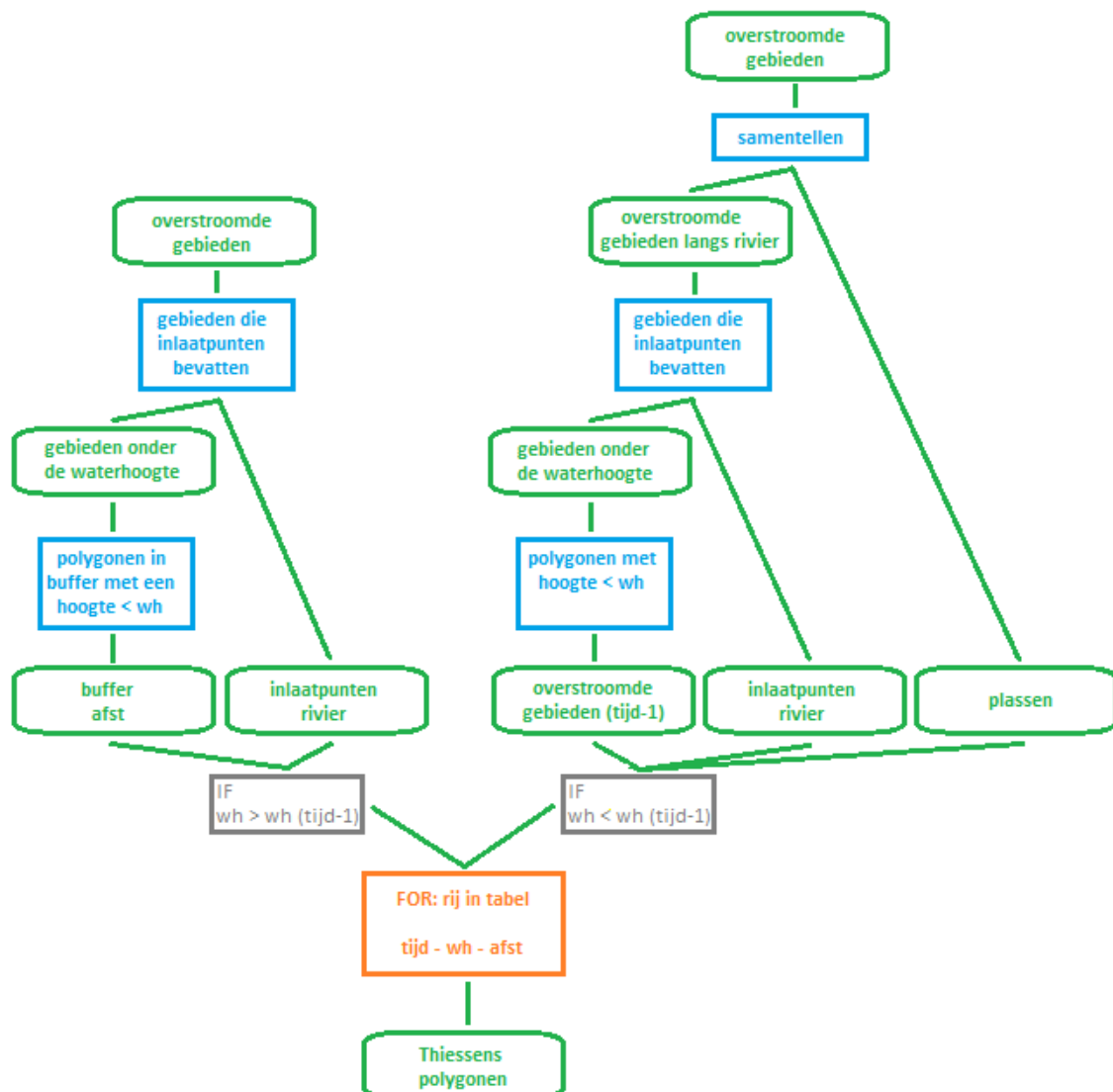
Tabel 1: Simulatiedata, gebruikt bij het testen van de tool

TIJDSTAP (h)	WATERHOOGTE (m)	STROOMSNELHEID (m/s)
1	3,54	0,03
2	3,94	0,06
3	4,34	0,04
4	3,64	0,05

6.3 Beslissingsondersteunende tool

Een overzicht van de werking van de tool en de stappen die doorlopen moeten worden om de overstromde gebieden uit de beschikbare datasets te halen, is te zien op Figuur 21. Eerst wordt de *DTM-shapefile*, die uit punten bestaat, omgezet naar een *polygonenshapefile*. Daarna overloopt de tool de simulatiedata per tijdstap. Voor elke tijdstap wordt gekeken of de waterhoogte groter of kleiner is dan de waterhoogte van de vorige tijdstap. Hier splitst de tool zich dus op in twee delen, waarvan telkens slechts één deel wordt uitgevoerd.

- 1) Wanneer de waterhoogte hoger is dan de hoogte tijdens de vorige tijdstap, dijt de overstroming verder uit. Dit wil zeggen dat nieuwe gebieden zullen overstromen. Hier start de berekening uit een afstandsbuffer die berekent hoe ver het water kan stromen in één tijdstap.
- 2) Wanneer de hoogte echter kleiner is, zakt het water en zullen er geen nieuwe gebieden onder water komen te staan. In dit deel starten de berekeningen vanuit de overstromde gebieden tijdens de vorige tijdstap.



Figuur 21: Overzicht werking beslissingsondersteunende tool
 groen = *shapefiles*, oranje = *for-lus*, grijs = *if-lus*, blauw = *selectie*

In paragraaf 6.3.4 wordt het script van het eerste deel, op het moment dat de overstroming zijn maximum nog niet bereikt heeft, uitgelegd. Daarna, in paragraaf 6.3.5, wordt de werkwijze verduidelijkt wanneer de overstroming weer terugtrekt. Paragraaf 6.3.6 gaat dieper in op dat terugtrekken van de rivier en de plassen die hierbij ontstaan.

In paragraaf 6.3.7 wordt de gebruikersinterface getoond. Er wordt uitgelegd welke gegevens de gebruiker dient in te voeren en wat het resultaat van de beslissingsondersteunende tool is. Ook hier staan het bijhorende script en de commando's vermeld en uitgelegd. De gebruiker krijgt echter niets te zien van het script. Een eenvoudige interface zorgt ervoor dat een uitgebreide GIS- of Pythonkennis overbodig is.

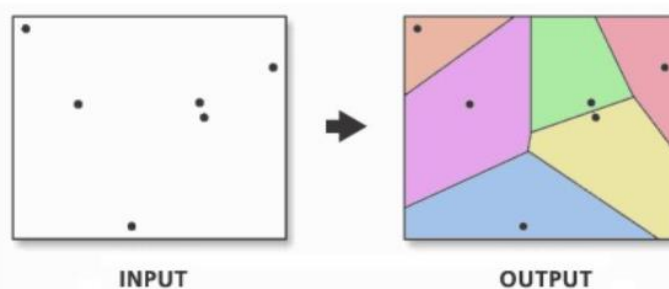
Bij elke tussenstap wordt het relevante stuk script aangehaald en worden de gebruikte commando's uitgelegd. Het volledige script is achteraan toegevoegd als bijlage.

6.3.1 Shapefiles klaarmaken voor gebruik

6.3.1.1 Werkwijze

In deze stap werden de beschikbare datasets klaargemaakt voor gebruik. De *shapefile* van het DTM, met de hoogtepunten van het terrein in en de *shapefile* van de rivier moesten namelijk eerst aangepast worden voor ze konden gebruikt worden. Zo moest de *puntenshapefile* van de DTM omgezet worden naar een *polygonsshapefile* en moest de rivier, indien deze uit de VHA afkomstig is, eerst een breedte krijgen. De *shapefile* met de rivier, zoals verkregen uit het GRB, is er reeds één met polygonen in. De waterloopbreedte wordt accuraat en voor elke dwarsdoorsnede weergegeven. Deze *shapefile* was dan ook klaar voor gebruik.

In deze stap werd ook de *layer* DTM klaargemaakt voor gebruik. Aangezien dit een *shapefile* met punten is, dienden deze omgezet te worden naar polygonen. In de volgende stappen werden namelijk commando's gebruikt die polygonen als input eisen. Dan werd deze nieuwe *shapefile* gebruikt. Want het uiteindelijke doel van de tool is het bekomen van een *polygonenlayer* die de overstroomde gebieden aanduidt.



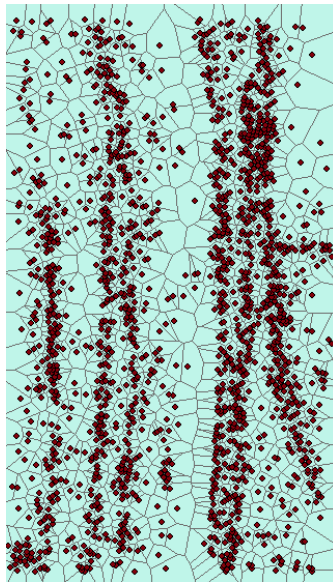
Figuur 22: Omzetten van punten naar Thiessens polygonen ("ArcGIS Help 10.1", 2012)

Om deze polygonen te creëren, werden Thiessens polygonen gebruikt. De grenzen van deze polygonen worden bepaald door hun nabijheid tot een punt. De afstand van een punt op de rand van de polygoon tot aan het hoogtepunt, gelegen in deze polygoon, is steeds kleiner dan de afstand naar een ander hoogtepunt. Zo werd het volledige onderzoeksgebied opgedeeld in vlakken. Deze werden gebruikt bij de verdere stappen.

6.3.1.2 Script en resultaat

Via de module *arcpy* is het zeer gemakkelijk om de *puntenshapefile* om te zetten naar Thiessens polygonen met het commando **CreateThiessenPolygons_analysis**. Omdat dit commando een *Feature Layer* als input vraagt, zal de *shapefile* eerst omgezet worden. Dit gebeurt met het commando **MakeFeatureLayer_management**. De *polygonenshapefile* DHM_polygonen wordt opgeslagen in de output-map, die gekozen wordt door de gebruiker. Hierop wordt dieper ingegaan in paragraaf 6.3.7. Het resultaat is zichtbaar in Figuur 23.

```
DHM = arcpy.GetParameterAsText(2)
arcpy.MakeFeatureLayer_management(DHM, "DHM_lyr")
dhm = workspace + "\DHM_polygonen.shp"
arcpy.CreateThiessenPolygons_analysis("DHM_lyr", dhm, "ALL")
```



Figuur 23: DTM-shapefile omgezet naar polygonen met behulp van Thiessens polygonen

De *shapefile* met de rivier is reeds klaar voor gebruik. Toch moet deze voor verder gebruik in het script omgezet worden naar een *Feature Layer*. Dit gebeurt met het commando **MakeFeatureLayer_management**.

```
arcpy.MakeFeatureLayer_management(WTZ, "rivierbreedte_lyr")
```

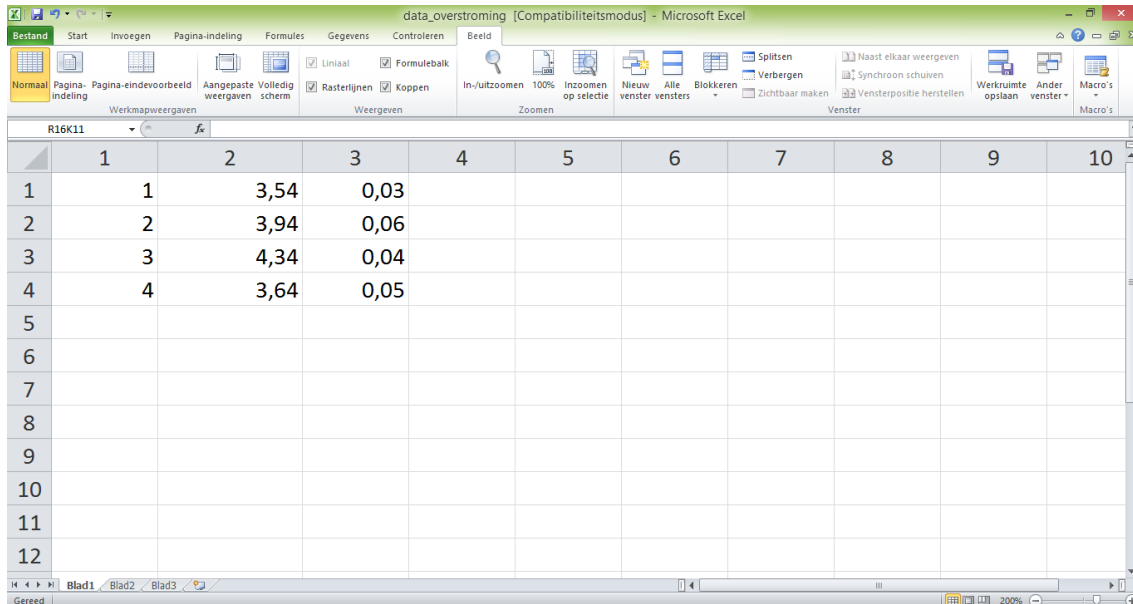
Wanneer het onderzoeksgebied een stad bevat die nog niet opgemeten is in het GRB, kan met de VHA gewerkt worden. Dit is een *lijnenshapefile* die enkel de as weergeeft van de rivier. In onderstaand script wordt aangetoond hoe deze *shapefile* klaargemaakt kan worden voor gebruik, door met een buffer van de gemiddelde breedte, voor het onderzoeksgebied 15 m, een *polygonenshapefile* te creëren. De buffer is gemakkelijk te programmeren met Python met behulp van het commando **Buffer_analysis**. Opnieuw moet de *inputshapefile*, de VHA, eerst omgezet worden naar een *Feature Layer* vooraleer de buffer kan uitgevoerd worden.

```
VHA = arcpy.GetParameterAsText(3)
arcpy.MakeFeatureLayer_management(VHA, "VHA_lyr")
buffnaam = workspace + "\Rivierbreedte15.shp"
arcpy.Buffer_analysis("VHA_lyr", buffnaam, 15, "FULL", "FLAT", "ALL")
```

6.3.2 Gegevens uit datatabel halen

6.3.2.1 Werkwijze

In Microsoft Excel werd een tabel opgemaakt met daarin de gegevens van de overstroming. In de eerste kolom bevinden zich de tijdstappen. Daarnaast staan de waterhoogte en de stroomsnelheid die bij die tijdstap horen. Het is belangrijk dat deze volgorde behouden blijft, want zo werden de gegevens gelinkt aan het script. Uit de stroomsnelheid werd de afstand die het water aflegt in één tijdstap gehaald. Ook deze afstand werd opgeslagen als een variabele in het script.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	3,54	0,03							
2	2	3,94	0,06							
3	3	4,34	0,04							
4	4	3,64	0,05							
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										

Figuur 24: Datatabel in Microsoft Excel met de overstromingsgegevens

Deze gegevens vormen de basis voor een *for*-lus in het script. Dit wil zeggen dat de stappen die hierna besproken worden, telkens herhaald worden voor elke tijdstap. De lus stopt wanneer er geen gegevens meer zijn. Zo krijgt men voor elke tijdstap een aparte voorspellingskaart.

6.3.2.2 Script

Python is een programmeertaal die werkt met modules. De module die in onderstaand script gebruikt wordt, zit niet standaard in de basisversie van Python. De module **xlrd**, die gebruikt wordt om Microsoft Excel-bestanden te lezen, kan gratis gedownload worden. Daarna kan deze geïmporteerd en gebruikt worden in het script.

```
from mmap import mmap,ACCESS_READ
from xlrd import open_workbook
```

Deze lijnen in het script zorgen ervoor dat de module geïmporteerd is en dus klaar voor gebruik. Wanneer dit gebeurd is kan het bestand ingelezen worden. Eerst moet het juiste blad gekozen worden, waarna de verschillende waarden in de kolommen aan een variabele gekoppeld worden. De tweede kolom is deze met de waterhoogtes in, de derde bevat de stroomsnelheden.

```
fname = arcpy.GetParameterAsText(4)
wb = open_workbook(fname)
```

```

blad = wb.sheet_by_index(0)
tijd = 0
afst = 0
for row in range(blad.nrows):
    values = []
    for col in range(blad.ncols):
        values.append(blad.cell(row,col).value)
    tijd = tijd + 1
    wh = float(values[1])
    snel = float(values[2])
    afst = afst + (snel*360)

```

Ook de afstandsvariabele wordt hier bepaald. Aangezien de stroomsnelheid in m/s wordt weergegeven, moet deze snelheid vermenigvuldigd worden met 360 om de afstand per tijdstap, een uur, te berekenen. Zoals in paragraaf 6.3.2.1 reeds aangehaald werd, wordt hier met een *for*-lus gewerkt die de tabel rij per rij overloopt. De stappen die in paragraaf 6.3.3, paragraaf 6.3.4, paragraaf 6.3.5 en paragraaf 6.3.6 worden uitgeschreven, bevinden zich in deze lus, en worden dus voor elke rij opnieuw toegepast.

6.3.3 Overstroomde oeverpunten in een aparte *shapefile* plaatsen

6.3.3.1 Werkwijze

In deze stap werden de hoogtepunten die langs de rivier liggen, vergeleken met de hoogte van het water. Enkel de punten die onder water staan, werden geselecteerd.

Hiervoor was eerst een selectie op basis van de locatie nodig. Zo werden alle hoogtepunten uit de *polygonenshapefile* die in en op de rand van de rivier liggen, geselecteerd. Een tweede selectie op deze punten zorgde ervoor dat enkel de punten die onder de waterhoogte liggen, geselecteerd bleven. Deze uiteindelijke selectie werd in een nieuwe *shapefile* geplaatst.

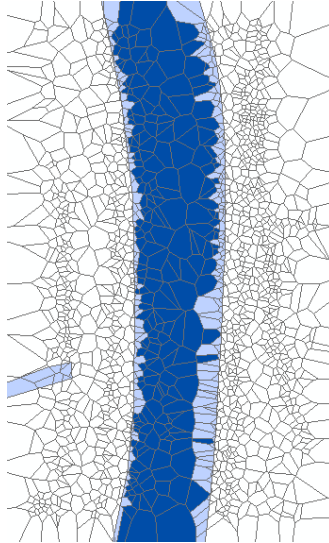
6.3.3.2 Script en resultaten

Om de oeverpunten te selecteren die onder de waterhoogte liggen, moet de zoekopdracht in twee delen opgesplitst worden. Een eerste selectie gebeurt op basis van de locatie. Via het commando **SelectLayerByLocation_management** worden alle hoogtepolygonen geselecteerd die aan de rand van de rivier gelegen zijn. **SelectLayerByAttribute_management** zorgt er nadien voor dat enkel de polygonen met een hoogte onder de waterhoogte geselecteerd blijven. Het resultaat hiervan is te zien op Figuur 25.

```

arcpy.SelectLayerByLocation_management("DHM_polygonen_lyr",'WITHIN',
"rivierbreedte_lyr")
zin1 = "\"3_40\" <" + str(wh)
arcpy.SelectLayerByAttribute_management("DHM_polygonen_lyr",
'SUBSET_SELECTION', zin1)
oeverlyr = workspace + "\oeverpunten" + str(tijd) + ".shp"
arcpy.CopyFeatures_management("DHM_polygonen_lyr", oeverlyr)
arcpy.MakeFeatureLayer_management(oeverlyr, "oeverpunten_lyr")

```



Figuur 25: Polygonen van de oeverpunten die onder de waterhoogte liggen voor tijdstap 1

6.3.4 Overstroomde gebieden bepalen (als $wh > wh(\text{tijd-1})$ (vorige waterhoogte))

6.3.4.1 Werkwijze

In deze stap werden de overstroomde gebieden bepaald, wanneer de overstroming nog niet aan zijn maximum is. Hiervoor werden eerst de polygonen geselecteerd die binnen de afstand die het water kan afleggen in één tijdstap gelegen zijn en onder de waterhoogte liggen. Door daarna een extra selectie uit te voeren, om enkel de polygonen die aan de rivier raken te selecteren, werd een correcte overstromingsvoorspellingskaart gegenereerd.

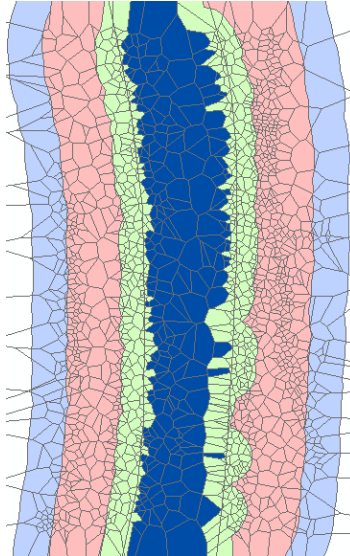
Met behulp van een buffer werd eerst de afstand die het water maximaal kan afleggen bepaald. Op deze buffer werd een selectie uitgevoerd, zodat enkel de polygonen die onder de waterhoogte liggen, geselecteerd werden. Deze werd opgeslagen in een aparte *shapefile*.

Op deze *shapefile* werd een **Dissolve** toegepast. Dit zorgt ervoor dat polygonen die aan elkaar grenzen, één grote polygoon worden. Wanneer dit gebeurd was, werd een laatste selectie toegepast. Enkel de polygonen die de oorspronkelijke oeverpunten bevatten, werden geselecteerd en in een *shapefile* geplaatst. Deze *shapefile* omvat dus de polygonen die de overstroomde gebieden in deze tijdstap weergeven.

6.3.4.2 Script en resultaten

Allereerst wordt opnieuw met het commando **Buffer_analysis** een buffer uitgevoerd, deze keer om de afstand die het water in één tijdstap vanaf de oeverpunten aflegt, te bepalen. Bij de tweede tijdstap is de afstand gelijk aan de afstand die het water maximaal kan afleggen in één tijdstap samengeteld met de afstand die het water aflegt in de eerste tijdstap. Bij de volgende tijdstappen wordt telkens de afstand bij dit resultaat geteld. Zo wordt er een buffer gecreëerd die langzaam uitdijt, afhankelijk van de stroomsnelheid per tijdstap, zoals te zien op Figuur 26.

```
buff2 = workspace + "\waterafstand" + str(tijd) + ".shp"
arcpy.Buffer_analysis(oeverlyr, buff2, afst, "FULL", "ROUND", "ALL")
```



Figuur 26: Buffer van de afstand die het water maximaal kan afleggen (groen = tijdstap 1, rood = tijdstap 2, blauw = tijdstap 3)

Vervolgens gebeurt er opnieuw een selectie, zowel op locatie als op tijd. Enkel de hoogtepolygonen die binnen de buffer liggen, worden geselecteerd. In een tweede zoekactie blijven enkel deze polygonen geselecteerd die lager gelegen zijn dan de waterhoogte.

```

arcpy.MakeFeatureLayer_management(buff2, "waterafstand_lyr")
arcpy.SelectLayerByLocation_management("DHM_polygonen_lyr", 'WITHIN',
"waterafstand_lyr")
arcpy.SelectLayerByAttribute_management("DHM_polygonen_lyr", 'SUBSET_SELECTIO
N',zin1)
bufferlyr = workspace + "\overstromingsbuffer" + str(tijd) + ".shp"
bufflyr = workspace + "\overstromingsbuffer_polygonen" + str(tijd) + ".shp"
oevlyr = workspace + "\oeverrivier"+str(tijd)+".shp"
overstroomeddelenlyr = workspace + "\overstroome_dele_" + str(tijd) + ".shp"
arcpy.CopyFeatures_management("DHM_polygonen_lyr", bufferlyr)

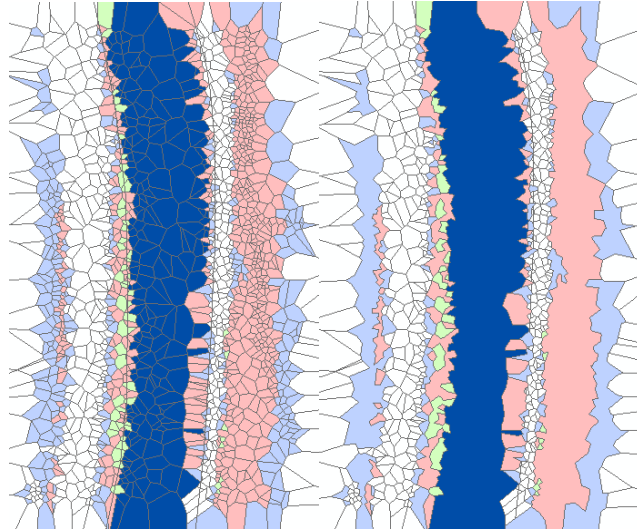
```

Om in de laatste stap enkel de gebieden over te houden die verbonden zijn met een oeverpunt, wordt het commando **Dissolve_management** gebruikt. Dit commando zorgt ervoor dat aparte polygonen die aan elkaar raken, samensmelten in één grote polygoon. Het is belangrijk dat er voor **SINGLE_PART** gekozen wordt. Dit zorgt er namelijk voor dat enkel polygonen die effectief aan elkaar raken, samensmelten. Kiest men voor **MULTI_PART**, dan smelten alle polygonen samen in één grote polygoon die uit verschillende delen bestaat. In de attributentabel heb je dan nog slechts één polygoon over. Het resultaat van deze **Dissolve_management** is te zien op Figuur 27.

```

arcpy.Dissolve_management(bufferlyr,bufflyr,"","","SINGLE_PART")
arcpy.Dissolve_management(oeverlyr, oevlyr)
arcpy.Union_analysis([bufflyr,oevlyr],overstroomeddelenlyr)
overstrlyr = workspace + "\overstromingsdeel_" + str(tijd) + ".shp"
arcpy.Dissolve_management(overstroomeddelenlyr,overstrlyr,"","","SINGLE_PART")

```



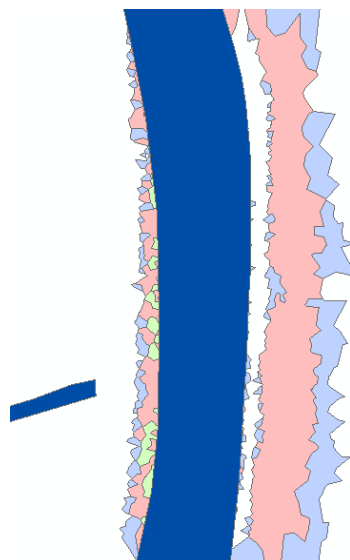
Figuur 27: Gebieden gelegen onder de waterhoogte, voor en na Dissolve (groen = tijdstap 1, rood = tijdstap 2, blauw = tijdstap 3)

In deze laatste stap worden met behulp van **SelectLayerByLocation_management** enkel de polygonen geselecteerd die oeverpunten bevatten. Zo worden polygonen die wel lager liggen dan de waterhoogte, maar niet verbonden zijn met een oeverpunt, niet in de uiteindelijke selectie opgenomen. Het resultaat van de selectie kan weggeschreven worden op een aparte locatie, de resultaten-map. Op Figuur 28 is dit resultaat voor 3 tijdstappen te zien.

```

arcpy.MakeFeatureLayer_management(overstrlyr,"overstromingsbuffer_polygonen_lyr")
arcpy.MakeFeatureLayer_management(oevlyr,"oev_lyr")
arcpy.SelectLayerByLocation_management("overstromingsbuffer_polygonen_lyr",
"INTERSECT", "oev_lyr")
overstromingslyr = workspace_res + "\overstroming_" + str(tijd) + ".shp"
arcpy.CopyFeatures_management ("overstromingsbuffer_polygonen_lyr",
overstromingslyr)

```



Figuur 28: Resultaat: overstromde gebieden langs de IJzer voor 3 tijdstappen. (groen = tijdstap 1, rood = tijdstap 2, blauw = tijdstap 3)

6.3.5 Overstroomde gebieden bepalen (als $wh < wh(tijd-1)$ (vorige waterhoogte))

6.3.5.1 Werkwijze

Wanneer de waterhoogte lager is dan deze in de vorige tijdstap, is de overstrooming aan het terugtrekken. Er diende hier dus een volledig andere werkwijze toegepast te worden dan deze in paragraaf 6.3.4. Door de overstroomde gebieden tijdens de vorige tijdstap als startpunt te nemen, werden de gebieden geselecteerd die nog steeds onder water stonden bij deze lagere waterhoogte. Eventuele plassen werden behouden, maar hierover volgt in paragraaf 6.3.5 meer.

In deze stap werd uitgegaan van de gebieden die overstroomden tijdens de vorige tijdstap. Er werd gebruik gemaakt van de *shapefile* die toen aangemaakt werd, voordat er een **Dissolve** op werd toegepast. Op deze gebieden werd een selectie toegepast, om de polygoon te selecteren met een hoogte lager dan de waterhoogte.

Deze werden in een aparte *shapefile* geplaatst. Op deze werd een selectie op basis van locatie toegepast, om de polygoon te selecteren die binnen het overstroomde gebied van de vorige tijdstap liggen. Dit resultaat werd in een *shapefile* in de resultaten-map opgeslagen.

6.3.5.2 Script en resultaten

Aangezien in deze stap de overstrooming niet verder uitdijt, moet de afstand aangepast worden. Bij elke nieuwe tijdstap wordt de afstand opgeteld bij de afstand van de vorige tijdstappen. Wanneer de waterhoogte echter lager is, moet de afstand van de laatste tijdstap, weer afgetrokken worden van de afstand.

$$afst = afst - (snel * 360)$$

Van de *shapefile* met de overstroomde polygoon van de vorige tijdstap wordt een *Feature Layer* gemaakt. Daarna worden met behulp van het commando **SelectLayerByAttribute_management** de gebieden die zich onder de waterhoogte bevinden, geselecteerd.

```
arcpy.MakeFeatureLayer_management(workspace+"\overstromingsbuffer"+str(tijd-1)+".shp","overstromingsbuff_lyr")
zin2 = "\"3_40\" <" + str(wh)
arcpy.SelectLayerByAttribute_management("overstromingsbuff_lyr","NEW_SELECTION",zin2)
oeverlayer = workspace + "\overstromingsbuffer" + str(tijd) + ".shp"
arcpy.CopyFeatures_management("overstromingsbuff_lyr",oeverlayer)
```

Met behulp van **Dissolve_management** worden alle polygoon die aan elkaar grenzen samengevoegd tot één polygoon. Deze worden samengevoegd via **Union_analysis** met de oeverpunten die overstroomd zijn.

```
bufferlayer = workspace + "\overstromingsbuffer_polygoon" + str(tijd) + ".shp"
arcpy.Dissolve_management(oeverlayer,bufferlayer,"","","SINGLE_PART")
oever = workspace + "\oeverrivier" + str(tijd) + ".shp"
oev = workspace + "\oeverpunten" + str(tijd-1) + ".shp"
```

```

arcpy.Dissolve_management(oev,oever,"","","SINGLE_PART")
overstroomeddelen = workspace + "\overstroemde_delen_" + str(tijd) + ".shp"
arcpy.Union_analysis([bufferlayer,oever,plassen],overstroomeddelen)

```

```

overstr = workspace + "\overstromingsdeel_" + str(tijd) + ".shp"
arcpy.Dissolve_management(overstroomeddelen,overstr,"","","SINGLE_PART")

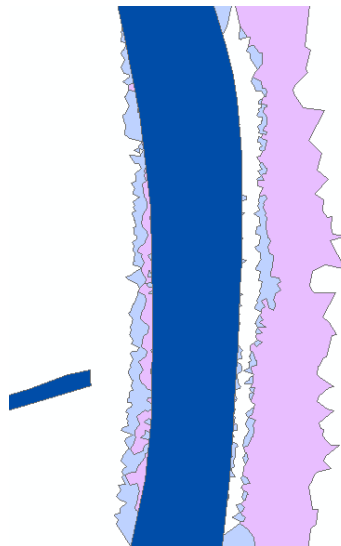
```

Op deze *shapefile* wordt een selectie toegepast met behulp van het commando **SelectLayerByLocation_management**. Enkel de polygonen die ook de *overstromingslayer* van de vorige tijdstap bevatten, blijven geselecteerd en worden in een nieuwe *shapefile* geplaatst. Dit is de *overstromingsshapefile* van deze tijdstap. Het resultaat is te zien op Figuur 29.

```

arcpy.MakeFeatureLayer_management(overstr,"overstromingsbuffer_polygonen_lyr")
arcpy.MakeFeatureLayer_management(workspace_res+ "\overstroming_" + str(tijd-1) +
".shp","overstroming_lyr")
arcpy.SelectLayerByLocation_management("overstromingsbuffer_polygonen_lyr",
"WITHIN", "overstroming_lyr")
overstromingslyr3 = workspace_res + "\overstroming_" + str(tijd) + ".shp"
arcpy.CopyFeatures_management ("overstromingsbuffer_polygonen_lyr",
overstromingslyr3)

```



Figuur 29: Resultaat: overstroemde gebieden langs de IJzer voor tijdstap 3 en 4 (blauw = tijdstap 3, paars = tijdstap 4)

6.3.6 Terugtrekken van de overstroming – ontstaan van plassen

6.3.6.1 Werkwijze

Wanneer de overstroming over zijn maximum heen is, veranderde de berekening. Dit werd uitgelegd in paragraaf 6.3.5. Bij het terugtrekken van de overstroming, kunnen plassen ontstaan. Deze ontstaan in de laagst gelegen gebieden, die tijdens een overstroming onder water stonden. Een plas is niet meer verbonden met de rivier. Bij de verdere tijdstappen zal het water dus ook niet dalen in deze plas. Deze plassen zijn zeer belangrijk bij de uiteindelijke voorspellingen. Op deze plaatsen zal het water veel langer blijven staan dan op plaatsen die vlak naast de rivier gelegen zijn.

Om het script van de plassen te testen, waren meer extreme waarden nodig. Langs de IJzer is een berm opgebouwd die overstromingen moet tegenhouden. Om dit deeltje van de beslissingsondersteunende tool te testen, zijn dus andere fictieve waarden ingegeven, die hoger liggen dan de berm. De waarden zijn af te lezen in Tabel 2.

Tabel 2: Simulatiedata, gebruikt bij het testen van het terugtrekken van de overstroming

TIJDSTAP (h)	WATERHOOGTE (m)	STROOMSNELHEID (m/s)
1	3,14	0,03
2	3,54	0,06
3	4,74	0,04
4	4,64	0,05
5	4,54	0,04
6	4,34	0,02

Op het ogenblik dat de plas ontstaat, zal het waterniveau niet meer zakken. Om dit te voorkomen, werden de plassen in een aparte *shapefile* opgeslagen in het script, en dit per tijdstap. Deze werden dan bij de berekende overstroomde gebieden, die bij de gedaalde waterhoogte horen, gevoegd.

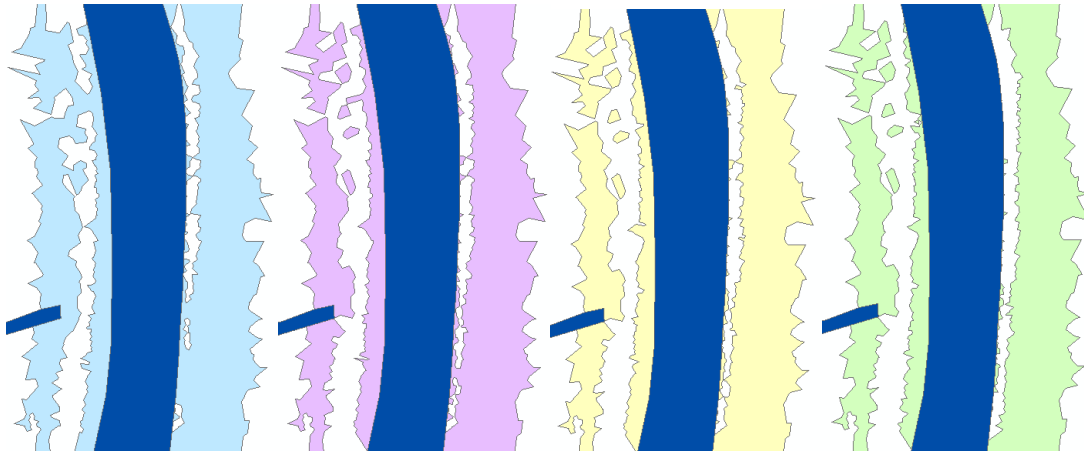
6.3.6.2 Script en resultaten

Allereerst wordt een *Feature Layer* gemaakt van de *shapefile* die de uiteindelijke overstroomde gebieden van de vorige tijdstap bevat. Ook van de oeverpunten die onder water stonden tijdens de vorige tijdstap wordt een *Feature Layer* gemaakt met het commando **MakeFeatureLayer_Management**. Op de *layer* die de overstroomde gebieden bevat, wordt een selectie uitgevoerd met **SelectLayerByLocation_management**. Enkel de polygonen die de oeverpunten bevatten, worden geselecteerd. Door nogmaals hetzelfde commando te gebruiken en **SWITCH_SELECTION** te kiezen, wordt de selectie omgedraaid. De gebieden die de oeverpunten niet bevatten, de plassen dus, worden geselecteerd. Deze worden in een aparte *shapefile* geplaatst.

```
arcpy.MakeFeatureLayer_management(workspace_res+"\overstroming_"+str(tijd-1)+".shp","overstroming")
arcpy.MakeFeatureLayer_management(workspace+"\oeverpunten"+str(tijd-1)+".shp","oever")
arcpy.SelectLayerByLocation_management("overstroming","INTERSECT","oever")
arcpy.SelectLayerByLocation_management("overstroming","","","","SWITCH_SELECTION")
plassen = workspace + "\plassen_" + str(tijd) + ".shp"
arcpy.CopyFeatures_management("overstroming",plassen)
```

Deze *shapefile* wordt uiteindelijk toegevoegd aan de overstroomde gebieden, zoals bepaald in paragraaf 6.3.5, met het commando **Union_analysis**. In Figuur 30 is het resultaat te zien voor tijdstap 3, tijdstap 4, tijdstap 5 en tijdstap 6. De plassen blijven bij elke stap behouden. De waterhoogte zakt wel in de overstroomde gebieden die aan de waterloop gelinkt zijn.

```
arcpy.Union_analysis([bufferlayer,oever,plassen],overstroomdedelen)
```



Figuur 30: Resultaat: Overstromde gebieden langs de IJzer voor tijdstap 3 (blauw), tijdstap 4 (paars), tijdstap 5 (geel) en tijdstap 6 (groen)

6.3.7 Gebruikersinterface

6.3.7.1 Werkwijze

Zoals reeds in paragraaf 6.1 werd aangehaald, is het doel van de tool de aanmaak van 2D gesimuleerde overstromingskaarten. Door Python te gebruiken, kan dit op een automatische manier. Dit zorgt ervoor dat de gebruiker weinig voorkennis van ArcGIS nodig heeft om de juiste kaarten te creëren. In deze paragraaf wordt uitgelegd hoe dit gebruiksgemak gecreëerd werd en wat de gebruiker van de tool te zien krijgt. Het script blijft namelijk volledig verborgen.

Om het script voor de gebruiker beschikbaar te maken, moest dit als een tool ingeladen worden in ArcGIS. Hiervoor werd eerst een nieuwe *toolbox* gemaakt. Daarna kon het script ingeladen worden in deze *toolbox* als een *script tool*. Door deze tool te linken aan het script, worden eventuele veranderingen in het script, meteen ook doorgegeven aan de tool.

Alhoewel het grootste deel van de tool op een geautomatiseerde manier gebeurt, kan de gebruiker toch enkele zaken zelf kiezen. Zo bepaalt de gebruiker waar de output-gegevens en de resultaten worden opgeslagen, welke DTM-*shapefile* en rivier-*shapefile* gebruikt worden en in welke datatabel de juiste informatie terug te vinden is.

Per tijdstap van de overstroming is er een *shapefile* aangemaakt. Deze worden toegevoegd aan de map die geopend is. Zo krijgt de gebruiker meteen een beeld van de overstroming. Ook de rivier-*shapefile* blijft zichtbaar.

6.3.7.2 Script en resultaat

Het programmeren van de keuze van de gebruiker gebeurt in twee stappen. In het script zelf wordt gebruik gemaakt van **GetParameterAsText()**. Dit commando zorgt ervoor dat de variabele in het script ingevuld wordt zoals de gebruiker dit wil. In het script van de beslissingsondersteunende tool worden vijf parameters gevraagd aan de gebruiker van de tool. Deze parameters staan verspreid over het script, maar worden telkens met hetzelfde commando opgevraagd.

```
workspace = arcpy.GetParameterAsText(0)
```

```
workspace_res = arcpy.GetParameterAsText(1)
```

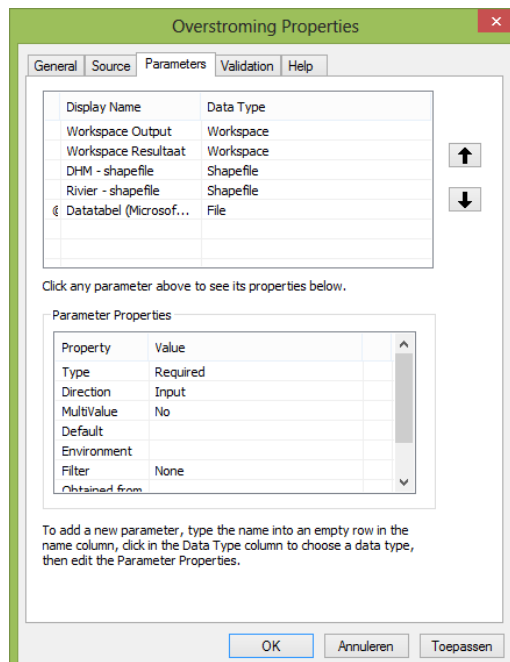
```
DHM = arcpy.GetParameterAsText(2)
```

```
WTZ = arcpy.GetParameterAsText(3)
```

```
fname = arcpy.GetParameterAsText(4)
```

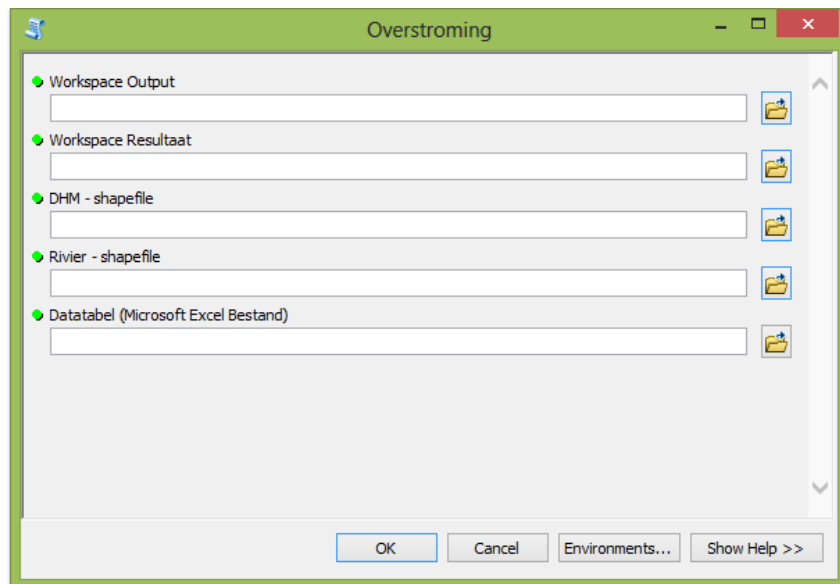
Om ervoor te zorgen dat de gebruiker de juiste informatie geeft, moeten de parameters ook in ArcGIS ingesteld worden. Bij het aanmaken van de script tool kan men de parameters en hun voorwaarden instellen. Zo kan de gebruiker voor de parameter *DHM-shapefile* enkel een *shapefile* kiezen, zoals te zien op Figuur 31.

Omdat er als data type van de parameter geen Microsoft Excel bestand kan gekozen worden, is het data type van de datatabel op file ingesteld. Bij de display name staat wel duidelijk vermeld dat het een Microsoft Excel bestand moet zijn, zodat de gebruiker weet wat hij moet kiezen.



Figuur 31: Propertes scherm van de beslissingsondersteunende tool in ArcGIS

Het startscherm van de tool is te zien op Figuur 32. Pas wanneer de gebruiker alle gegevens heeft ingevuld, kan de tool van start gaan met de berekeningen.



Figuur 32: Startscreen beslissingsondersteunende tool

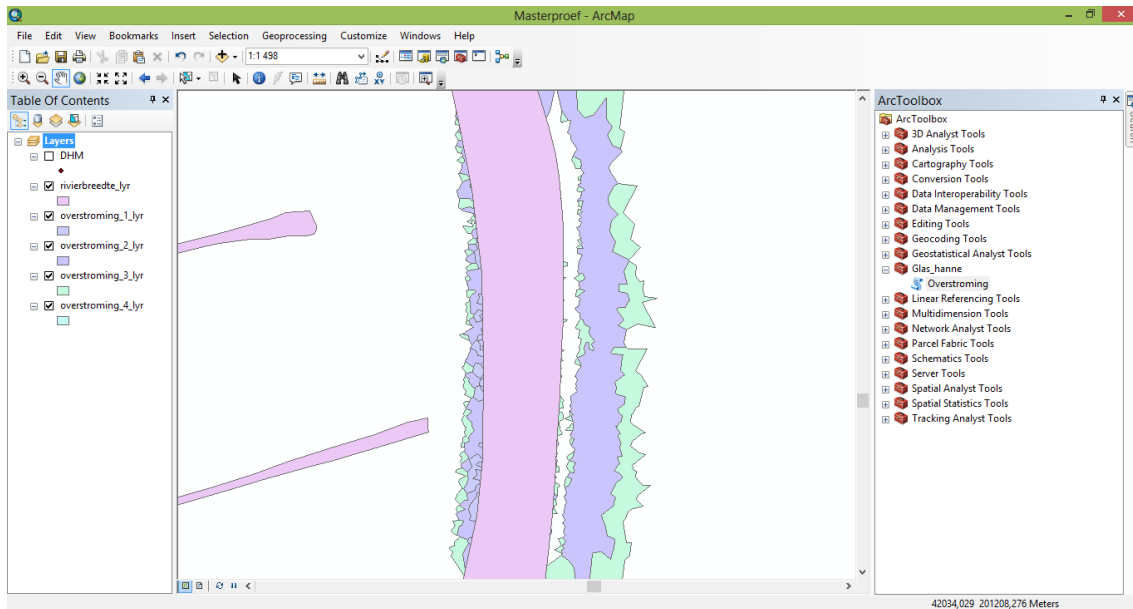
Het resultaat van de tool is te zien op Figuur 33. De *shapefiles* van de uiteindelijke overstroomde gebieden worden eerst omgezet naar een *layerfile* met het commando **SaveToLayerFile_management**, waarna ze toegevoegd worden aan het geopende map document met het commando **AddLayer**.

```
arcpy.MakeFeatureLayer_management(overstromingslyr,
"overstroming_"+str(tijd)+"_lyr")
overstromingslyr1 = workspace_res + "\overstroming_" + str(tijd) + ".lyr"
arcpy.SaveToLayerFile_management("overstroming_"+str(tijd)+"_lyr",overstromingslyr
1)
addLayer = arcpy.mapping.Layer(overstromingslyr1)
arcpy.mapping.AddLayer(df,addLayer,"BOTTOM")
```

Als laatste stap worden de *layers* met de hoogtepunten en de as van de rivier uitgezet, om een overzichtelijk beeld te creëren. Om dit ook meteen zichtbaar te maken voor de gebruiker moeten zowel de *Table of Contents* als de *Active View* vernieuwd worden. Zo worden alle veranderingen meteen zichtbaar.

```
DHM_lyr = arcpy.mapping.Layer("DHM")
DHM_lyr.visible = False

arcpy.RefreshTOC()
arcpy.RefreshActiveView()
```



Figuur 33: Map Document na het toepassen van de beslissingsondersteunende tool

6.4 Beperkingen van het onderzoek

De concrete rivier- en overstromingsgegevens zijn gebonden aan het eigendomsrecht. Hierdoor konden deze precieze data niet bekomen worden. Door dit gebrek aan exacte informatie, geeft dit onderzoek dan ook slechts een indicatie van de mogelijkheden. Voor bedrijven en overheden kan deze beslissingsondersteunende tool pas echt bruikbaar worden wanneer ook rekening wordt gehouden met de verschillen in waterhoogte, stroomsnelheid en breedte van de waterloop per punt van de rivier. Wanneer deze informatie voorhanden is, kan deze in het script verwerkt worden via een *for*-lus. Deze lus overloopt dan de punten van de rivier, en voor elk punt wordt het overstroomde gebied berekend zoals vermeld in het onderzoek. Deze gebieden kunnen met de commando's **Dissolve** en **Union** samengevoegd worden tot één *shapefile* die de overstroomde gebieden voor de rivier weergeeft. Dit resultaat zal nog een correcter beeld geven dan nu het geval is.

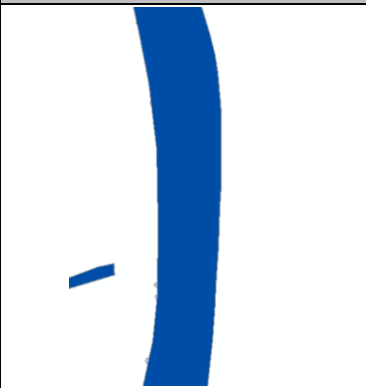
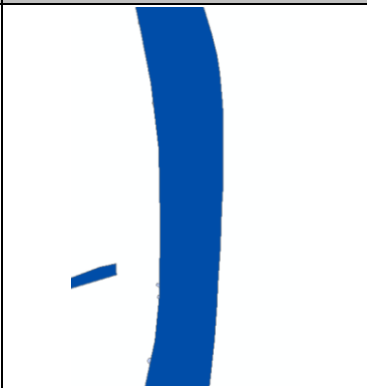
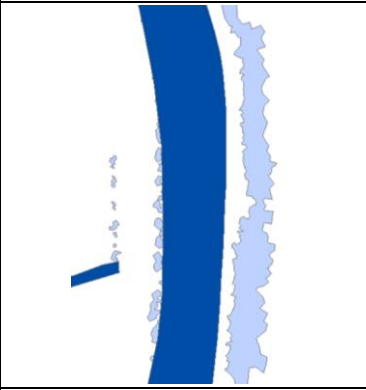
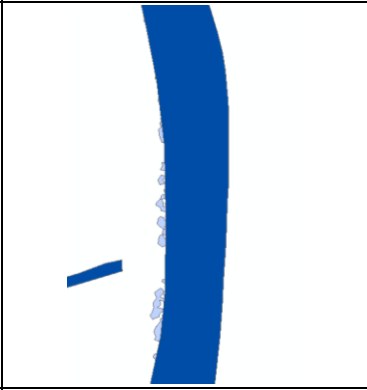
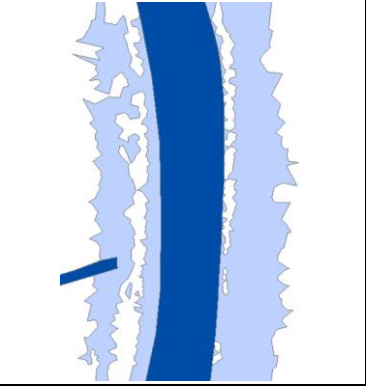
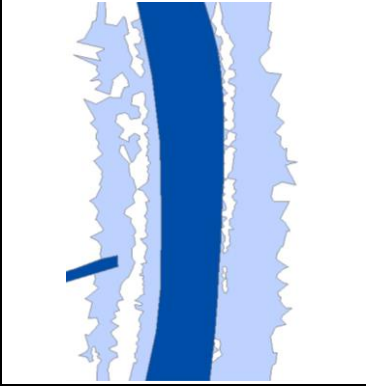
Wanneer een plas gecreëerd wordt, zal de waterhoogte van deze plas volgens de beslissingsondersteunende tool niet meer zakken. Dit is niet correct. Afhankelijk van de doordringbaarheid van de bodem, de vegetatie, de helling en de weersomstandigheden, zal het water met een zekere snelheid, die wel veel trager is dan de huidige overstromingsmodellen laten uitschijnen, in de bodem dringen. De gegevens waarmee deze snelheid berekend wordt, zijn reeds voorhanden en worden al gebruikt bij het hydrologische model. Deze moeten dus enkel nog gelinkt worden aan de plassen.

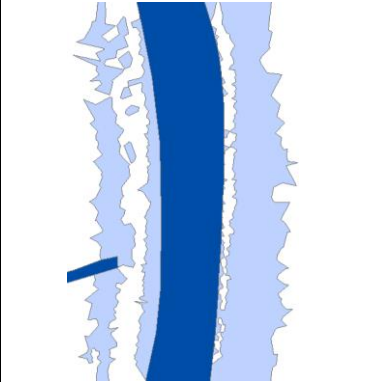
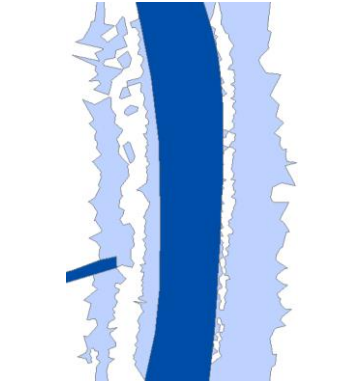
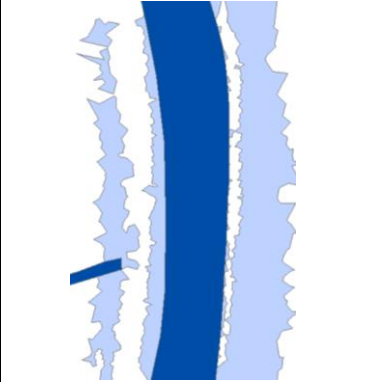
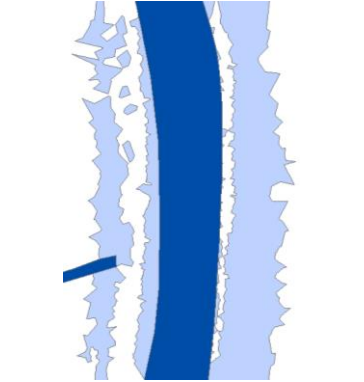
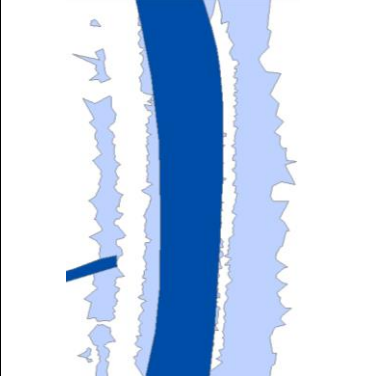
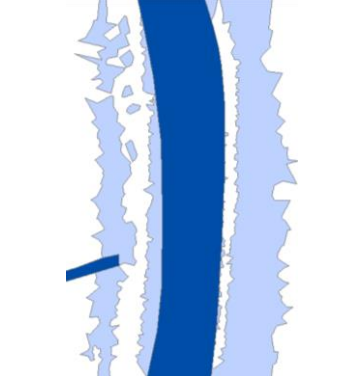
Ook moet met het reliëf van de gebieden langs de waterloop rekening gehouden worden. De helling van het maaiveld bepaalt immers hoe het dal gevuld wordt en hoe snel dit gebeurt. Wanneer de maximale afstand die het water in één tijdstap kan afleggen, berekend wordt in de beslissingsondersteunende tool wordt hier nog geen rekening mee gehouden. De stroomsnelheid zal stijgen wanneer het reliëf sterke hellingen vertoont en zo zal de afstand die het water aflegt groter zijn en zal een dal sneller gevuld worden. Wanneer deze factoren in het script zullen opgenomen worden, zal de beslissingsondersteunende tool een uiterst precies beeld geven van de overstroming.

6.5 Vergelijking resultaten bestaande software en beslissingsondersteunende tool

Wanneer deze basistool verder uitgebreid wordt, aan de hand van meer en correctere informatie zoals al aangegeven werd in paragraaf 6.4, kan deze de werkelijke overstroming dan ook veel correcter in beeld brengen dan de voorspellingssoftware die vandaag op de markt zijn. Om het nut en het belang aan te tonen, bevindt zich in Tabel 3 een vergelijking tussen beide werkwijzen. De overstroomde gebieden in het onderzoeksgebied zijn zowel via de beslissingsondersteunende tool als via de methode van de reeds bestaande software berekend.

Tabel 3: Vergelijking tussen werkwijze van de bestaande voorspellingssoftware en die van de beslissingsondersteunende tool, toegepast op het onderzoeksgebied

TIJDSTAP (h)	WATERHOOGTE (m)	VOORSPELLINGSSOFTWARE	TOOL
1	3,14		
2	3,54		
3	4,74		

TIJDSTAP (h)	WATERHOOGTE (m)	VOORSPELLINGSSOFTWARE	TOOL
4	4,64		
5	4,54		
6	4,34		

Uit Tabel 3 blijkt dat lager gelegen gebieden die niet langs de rivier gelegen zijn, minder snel overstromen dan aangegeven door de software nu op de markt. Maar eenmaal overstroomd, blijven deze gebieden veel langer onder water staan dan de kaarten, gecreëerd door de software, doen uitschijnen. Deze verschillen beïnvloeden ook het rampenbeheer. Het opstellen van evacuateroutes en het uitkiezen van opslagplaatsen voor water gebeurt immers op basis van deze overstromingsvoorspellingskaarten. Zoals uit de beslissingsondersteunende tool blijkt, zullen sommige regio's minder snel geëvacueerd moeten worden dan de software doet uitschijnen. Ook moet bij het kiezen van opslagplaatsen voor water rekening worden gehouden met de plassen die ontstaan. Hier trekt het water namelijk minder snel weg dan de resultaten van de software weergeven. De capaciteit van de opslagplaatsen zal dus op een correctere manier berekend kunnen worden.

7 Conclusie

Overstromingen zijn complexe natuurfenomenen, omdat er heel veel uiteenlopende factoren een rol spelen. Hierdoor is een ramp moeilijk te voorspellen. Toch geven de berekeningen die door de huidige modellen uitgevoerd worden een goede benadering. Door alle factoren in rekening te brengen, wordt voor elk punt van de rivier een waterhoogte en een stroomsnelheid bepaald. Deze hydraulische modellen zijn uiterst precies en voor elke rivier in België beschikbaar.

Verbeteringen zijn echter wel nog mogelijk bij het voorspellen van het verloop van de overstroming in de tijd. De voorspellingsmodellen die nu op de markt zijn, laten de overstroming starten vanaf de laagst gelegen punten, hoewel deze gebieden niet altijd langs de oever van de rivier gelegen zijn. Zo zullen laaggelegen punten te snel bestempeld worden als 'overstroomd' terwijl andere punten, die hoger gelegen zijn, eerst zullen overstromen omdat ze langs de waterloop gelegen zijn.

GIS is het ideale instrument om het verloop van een overstroming correct in beeld te brengen. Door de *geoprocessing tools* die ArcGIS aanbiedt, zoals **Buffer**, **Dissolve** en **Union**, te gebruiken, kan voor elke tijdstap een kaart gecreëerd worden die de overstroming, en de weg die het water aflegt, op een realistische manier toont.

Op het ogenblik dat de overstroming voorbij zijn maximum is en het water opnieuw terugtrekt, berekent de tool de overstroomde gebieden op een andere manier. Dan laat hij het water zakken op alle reeds overstroomde plaatsen. Deze manier van werken is gelijk aan de wijze waarop andere overstromingsmodellen dit berekenen. Toch is er een verschil. Wanneer er een plas ontstaat, die niet meer verbonden is met de rivier, zal het water niet meer zakken. In reeds bestaande modellen zal dit wel zo zijn. De waterhoogte in deze plassen zal evenveel dalen als deze in de rivier zelf. In het script wordt ervoor gezorgd dat de waterhoogte in de plassen niet daalt. De lager gelegen gebieden, waar deze plassen zich vormen, blijven langer overstroomd en dit blijkt ook duidelijk uit het model.

Een bijkomend voordeel van deze beslissingsondersteunende tool is zeker het gebruiksgemak. Een gebruiker moet niet vertrouwd zijn met ArcGIS en de *geoprocessing tools*. Deze commando's zijn weggewerkt in een script waardoor de gebruiker enkel een eenvoudige interface te zien krijgt. Deze automatische werkwijze zorgt ervoor dat het script ook zeer gemakkelijk te integreren is in een groter voorspellingsmodel, zoals deze modellen die nu reeds op de markt zijn.

Toch is deze tool slechts een aanzet. Om de beslissingsondersteunende tool gebruiksklaar te maken, zijn nog heel wat aanpassingen nodig. De informatie om deze beperkingen op te vangen, is echter wel al aanwezig in de huidige Belgische modellen. Wanneer deze tool in een volledig overstromingsmodel geplaatst wordt, kunnen deze tekortkomingen opgevangen worden. De exacte gegevens kunnen in de tool gebracht worden, waardoor deze een accuraat en waarheidsgetrouw resultaat kan geven.

Met de informatie die beschikbaar was, is een beslissingsondersteunende tool gecreëerd die een overstroming op een realistische manier in kaart brengt. In tegenstelling tot andere Belgische voorspellingsmodellen houdt deze tool rekening met de oeverpunten en de weg die

het water aflegt vanaf de oever tot een laaggelegen punt. Terwijl DTM-gebaseerde modellen enkel kwalitatieve resultaten bieden, geeft deze tool ook kwalitatief een goede indicatie, doordat de berekeningen gesteund zijn op informatie uit het hydraulische model.

Deze masterproef biedt dus geen definitieve oplossing en dit onderzoek is dan ook nog niet ten einde. Het voorspellen van een overstroming kan en moet nog veel accurater gebeuren. Professor Georges Allaert haalde het al aan in De Morgen: er zullen steeds meer en ernstigere *superstormen* plaatsvinden. Een rampenbeheer dat zijn basis vindt in een precieze overstromingsvoorspelling is dan ook een must om deze toekomstige stormen de baas te kunnen. Deze beslissingsondersteunende tool is zeker een stap in de goede richting.

Referentielijst

- ARCADIS Belgium NV (2011). Hoe omgaan met overstromingen in de Woluwe? Brussel, Vlaamse Milieumaatschappij [VMM]. Geraadpleegd op 12 december 2012, via <http://www.vmm.be/pub>.
- ArcGIS (2012). ArcGIS 10.1 Help. Laatst geraadpleegd op 3 juni 2013, via <http://resources.arcgis.com/en/help/>
- Bakhtyari Kia, M., Pirasteh, S., Pradhan, B., Mahmud, A.R., Sulaiman, W.N.A en Moradi, A. (2012). An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia. *Environmental Earth Science*, 67(1), 251-264.
- Björnsen Beratende Ingenieure GmbH (2013). Kalypso. Geraadpleegd op 21 februari 2013, via <http://kalypso.bjoernsen.de/index.php?id=333&L=4>.
- Boateng, I. (2012). GIS assessment of coastal vulnerability to climate change and coastal adaption planning in Vietnam. *Journal of Coastal Conservation*, 16(1), 25-37.
- Cauwenberghs, K. (2012). Crisisbeheer in Vlaanderen, van overstromingsvoorspeller naar crisisportaal. Presentatie op studiedag overstromingsaanpak VMM, 15 juni 2012. Geraadpleegd op 18 december 2012, via [http://www.vmm.be/pub/presentaties-studiedag-overstromingsaanpak-floodresiliency/presentatie-crisisbeheer-in-vlaanderen/view?searchterm=crisisbeheer in vlaanderen](http://www.vmm.be/pub/presentaties-studiedag-overstromingsaanpak-floodresiliency/presentatie-crisisbeheer-in-vlaanderen/view?searchterm=crisisbeheer%20in%20vlaanderen).
- Deltares (2012). SOBEK Suite. Geraadpleegd op 21 februari 2013, via <http://www.deltares.com/hydro/product/108282/sobek-suite>.
- Devroede, N., Dewelde, J., Cauwenberghs, K., Blanckaert, J., Swings, J., Francken, T., Gullentops, C. en Bulckaen, D.(2012). Flood Risk Management Planning in Flanders. Brussel, Flemish Environment Agency. Geraadpleegd op 7 februari 2013, via <http://www.vmm.be/pub/presentaties-studiedag-overstromingsaanpak-floodresiliency>.
- DHI (2011). Mike 11 – river modeling unlimited. Geraadpleegd op 21 februari 2013, via <http://www.dhisoftware.com/Products/WaterResources/MIKE11.aspx>.
- Ecorem-Haecon (2002). De IJse. Computermodellering als methode, hoogwaterbeheer als doel. Brussel, Administratie Milieu,- Natuur-, Land- en Waterbeheer [AMINAL], afdeling water. Geraadpleegd op 12 december 2012, via <http://www.vmm.be/pub/brochures-modellering/>.
- ETH (2010). Basement. Geraadpleegd op 21 februari 2013, via <http://www.basement.ethz.ch>.
- Feng, L. en Lu, J.(2010). The practical research on flood forecasting based on artificial neural networks. *Expert Systems with Applications* 37: 4, 2974-2978.

- Foraci, R., Bider, M., Cox, J.P., Lugli, F., Nicolini, R., Simoni, G., Tirelli, L., Mazzeo, S. en Marsigli, M. (2005). M3Flood: An Integrated System for Flood Forecasting and Emergency Management. In Professor Dr. Peter van Oosterom, Elfriede M. Fendel (red.), *Geo-information for Disaster Management* (pp. 1193-1210). Berlin Heidelberg: Springer.
- Harris County Public Infrastructure Department (2010). Floodplain Information. Geraadpleegd op 18 februari 2013, via http://hcpid.org/permits/fp_information.html.
- Hydrolic Engineering Center (2008) Hec-RAS. Geraadpleegd op 21 februari 2013, via <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>.
- Innovyze (2008). Infoworks RS and floodworks: the evolving story. Geraadpleegd op 21 februari 2013, via <http://www.environmental-expert.com/articles/infoworks-rs-and-floodworks-the-evolving-story-37785>.
- Innovyze (2013). Infoworks RS. Geraadpleegd op 21 februari 2013, via http://www.innovyze.com/products/infoworks_rs/.
- Kim, J., Kuwahara, Y. en Kumar, M. (2011). A DEM-based evaluation of potential flood risk to enhance decision support system for save evacuation. *Natural Hazards* 59(3), 1561-1573.
- Kubíček, P., Muličková, E., Konečný, M. en Kučerová, J. (2011). Flood Management and Geoinformation Support within the Emergency Cycle (EU Example). *IFIP Advances in Information and Communication Technology* 359(1), 77-87.
- Vafeidis, A., Nicholls, R., MCFadden, L., Tol, R., Hinkel, J., Spencer, T., Grashoff, P., Boot, G. en Klein, R. (2008). A new global coastal database for impact and vulnerability analysis to sea-level rise. *Journal of Coastal Research* 24(4), 917-925.
- Van der Mensbrugge, T. F. (2012). 'We moeten ons wapenen tegen superstormen'. *De Morgen*. p. 11.
- Vlaams Instituut voor de zee [VLIZ] (2013). Estuaria & rivieren. Geraadpleegd op 17 mei 2013, via http://www.vliz.be/cijfers_beleid/zeecijfers/main.php?id=1&sid=13&ssid=25.
- Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie [VNSC] (z.j.). Regenrivier en getijdenrivier. Geraadpleegd op 18 februari 2013, via <http://www.vnsc.eu/schelde-estuarium/derivier/regenrivier-en-getijdenrivier.html>.

Bijlage: Script van de beslissingsondersteunende tool

```
import arcpy
import arcpy.mapping
import os
import sys
import traceback
from mmap import mmap,ACCESS_READ
from xlrd import open_workbook

# set workspace
mxd = arcpy.mapping.MapDocument("Current")
df = arcpy.mapping.ListDataFrames(mxd)[0]
workspace = arcpy.GetParameterAsText(0)
workspace_res = arcpy.GetParameterAsText(1)

arcpy.env.overwriteOutput = True

# hoogtepunten van DTM omzetten naar polygonen via Thiessens polygonen
DHM = arcpy.GetParameterAsText(2)
arcpy.MakeFeatureLayer_management(DHM, "DHM_lyr")
dhm = workspace + "\DHM_polygonen.shp"
arcpy.CreateThiessenPolygons_analysis("DHM_lyr", dhm, "ALL")

# Select in DTM - laagste punten van oever in aparte layer
# rivier uit GRB – WTZ shapefile halen
WTZ = arcpy.GetParameterAsText(3)

arcpy.MakeFeatureLayer_management(dhm, "DHM_polygonen_lyr")
arcpy.MakeFeatureLayer_management(WTZ, "rivierbreedt5_lyr")

# rivier toevoegen aan mxd
rivier = workspace_res + "\Rivierbreedte.lyr"
arcpy.SaveToLayerFile_management("rivierbreedte_lyr",rivier)
addRivier = arcpy.mapping.Layer(rivier)
arcpy.mapping.AddLayer(df,addRivier,"BOTTOM")

wh_min = 0

# uit tabel halen: waterhoogte wh en afstand voor buffer afst
fname = arcpy.GetParameterAsText(4)

wb = open_workbook(fname)
blad = wb.sheet_by_index(0)
```

```

tijd = 0
afst = 0
for row in range(blad.nrows):
    values = []
    for col in range(blad.ncols):
        values.append(blad.cell(row,col).value)
    tijd = tijd + 1
    wh = float(values[1])
    snel = float(values[2])
    afst = afst + (snel*360)
    print tijd
    print wh
    print snel
    print afst

# als waterhoogte groter is dan vorige waterhoogte
if wh > wh_min:
    arcpy.SelectLayerByLocation_management("DHM_polygonen_lyr", 'WITHIN',
        "rivierbreedte_lyr")
    zin1 = "\"3_40\" <" + str(wh)
    arcpy.SelectLayerByAttribute_management("DHM_polygonen_lyr", 'SUBSET_SELECTION',
        zin1)
    oeverlyr = workspace + "\oeverpunten" + str(tijd) + ".shp"
    arcpy.CopyFeatures_management("DHM_polygonen_lyr", oeverlyr)
    arcpy.MakeFeatureLayer_management(oeverlyr, "oeverpunten_lyr")
#in oeverlyr staan nu alle oeverpunten die onder water zullen staan

# Buffer volgens tijdseenheden - snelheid en tijd omzetten naar afstand
buff2 = workspace + "\waterafstand" + str(tijd) + ".shp"
arcpy.Buffer_analysis(oeverlyr, buff2, afst, "FULL", "ROUND", "ALL")

# Select by location - bufferlayer en DTM-waterhoogte
arcpy.MakeFeatureLayer_management(buff2, "waterafstand_lyr")
arcpy.SelectLayerByLocation_management("DHM_polygonen_lyr", 'WITHIN',
    "waterafstand_lyr")
arcpy.SelectLayerByAttribute_management("DHM_polygonen_lyr", 'SUBSET_SELECTION',
    zin1)
bufferlyr = workspace + "\overstromingsbuffer" + str(tijd) + ".shp"
bufflyr = workspace + "\overstromingsbuffer_polygonen" + str(tijd) + ".shp"
oevlyr = workspace + "\oeverrivier"+str(tijd)+".shp"
overstroomeddelenlyr = workspace + "\overstroomde_delen_" + str(tijd) + ".shp"
arcpy.CopyFeatures_management("DHM_polygonen_lyr", bufferlyr)
arcpy.Dissolve_management(bufferlyr,bufflyr,"", "", "SINGLE_PART")
arcpy.Dissolve_management(oeverlyr, oevlyr)
arcpy.Union_analysis([bufflyr,oevlyr],overstroomeddelenlyr)

```



```
overstrlyr = workspace + "\overstromingsdeel_" + str(tijd) + ".shp"  
arcpy.Dissolve_management(overstroombdedelenlyr,overstrlyr,"","","SINGLE_PART")
```

Select by location - vorige layer en laagste punt rivier

```
arcpy.MakeFeatureLayer_management(overstrlyr,"overstromingsbuffer_polygonen_lyr")  
arcpy.MakeFeatureLayer_management(oevlyr,"oev_lyr")  
arcpy.SelectLayerByLocation_management("overstromingsbuffer_polygonen_lyr",  
"INTERSECT",  
"oev_lyr")  
overstromingslyr = workspace_res + "\overstroming_" + str(tijd) + ".shp"  
arcpy.CopyFeatures_management("overstromingsbuffer_polygonen_lyr",  
overstromingslyr)
```

aan mxd toevoegen

```
arcpy.MakeFeatureLayer_management(overstromingslyr,  
"overstroming_"+str(tijd)+"_lyr")  
overstromingslyr1 = workspace_res + "\overstroming_" + str(tijd) + ".lyr"  
arcpy.SaveToLayerFile_management("overstroming_"+str(tijd)+"_lyr",overstromingslyr1)  
addLayer = arcpy.mapping.Layer(overstromingslyr1)  
arcpy.mapping.AddLayer(df,addLayer,"BOTTOM")
```

#als waterhoogte kleiner is dan vorige waterhoogte

else:

```
afst = afst- (snel*360)
```

oeverpunten selecteren

```
arcpy.SelectLayerByLocation_management("DHM_polygonen_lyr", 'WITHIN',  
"rivierbreedte_lyr")  
zin1 = "\3_40\" <" + str(wh)  
arcpy.SelectLayerByAttribute_management("DHM_polygonen_lyr", 'SUBSET_SELECTION',  
zin1)  
oeverlyr = workspace + "\oeverpunten" + str(tijd) + ".shp"  
arcpy.CopyFeatures_management("DHM_polygonen_lyr", oeverlyr)  
arcpy.MakeFeatureLayer_management(oeverlyr, "oeverpunten_lyr")
```

plassen (die niet meer met rivier verbonden zijn) in aparte shapefile plaatsen

```
arcpy.MakeFeatureLayer_management(workspace_res+"\overstroming_"+str(tijd-  
1)+".shp","overstroming")  
arcpy.MakeFeatureLayer_management(workspace+"\oeverpunten"+str(tijd-  
1)+".shp","oever")  
arcpy.SelectLayerByLocation_management("overstroming","INTERSECT","oever")  
arcpy.SelectLayerByLocation_management("overstroming","","","SWITCH_SELECTION")  
plassen = workspace + "\plassen_" + str(tijd) + ".shp"  
arcpy.CopyFeatures_management("overstroming",plassen)
```

polygoenen selecteren die nog onder water zullen liggen uit overstromingskaart van vorige tijdstap

```
arcpy.MakeFeatureLayer_management(workspace+"\overstromingsbuffer"+str(tijd-1)+".shp","overstromingsbuff_lyr")
zin2 = "\"3_40\" <" + str(wh)
arcpy.SelectLayerByAttribute_management("overstromingsbuff_lyr","NEW_SELECTION",zin2)
oeverlayer = workspace + "\overstromingsbuffer" + str(tijd) + ".shp"
arcpy.CopyFeatures_management("overstromingsbuff_lyr",oeverlayer)
bufferlayer = workspace + "\overstromingsbuffer_polygoenen" + str(tijd) + ".shp"
arcpy.Dissolve_management(oeverlayer,bufferlayer,"","","SINGLE_PART")
oever = workspace + "\oeverrivier" + str(tijd) + ".shp"
oev = workspace + "\oeverpunten" + str(tijd-1) + ".shp"
arcpy.Dissolve_management(oev,oever,"","","SINGLE_PART")
overstroomeddelen = workspace + "\overstroemde_delen_" + str(tijd) + ".shp"
arcpy.Union_analysis([bufferlayer,oever,plassen],overstroomeddelen)
overstr = workspace + "\overstromingsdeel_" + str(tijd) + ".shp"
arcpy.Dissolve_management(overstroomeddelen,overstr,"","","SINGLE_PART")
arcpy.MakeFeatureLayer_management(overstr,"overstromingsbuffer_polygoenen_lyr")
arcpy.MakeFeatureLayer_management(workspace_res+"\overstroming_"+str(tijd-1)+".shp","overstroming_lyr")
arcpy.SelectLayerByLocation_management("overstromingsbuffer_polygoenen_lyr","WITHIN",
"overstroming_lyr")
overstromingslyr3 = workspace_res + "\overstroming_" + str(tijd) + ".shp"
```

aan mxd toevoegen

```
arcpy.CopyFeatures_management ("overstromingsbuffer_polygoenen_lyr",
overstromingslyr3)
arcpy.MakeFeatureLayer_management(overstromingslyr3, "overstroming_"
+str(tijd)+"_lyr")
overstromingslyr2 = workspace_res + "\overstroming_" + str(tijd) + ".lyr"
arcpy.SaveToLayerFile_management("overstroming_" + str(tijd) + "_lyr",overstromingslyr2)
addLayer1 = arcpy.mapping.Layer(overstromingslyr2)
arcpy.mapping.AddLayer(df,addLayer1,"BOTTOM")
```

wh_min = wh

```
DHM_lyr = arcpy.mapping.Layer("DHM")
DHM_lyr.visible = False
```

```
arcpy.RefreshTOC()
arcpy.RefreshActiveView()
```