

ONZEKERHEID BEEKPEILEN BIJ HERINRICHTING

L.E. KEIM
S1006320
ADVANCED TECHNOLOGY



UNIVERSITEIT TWENTE.



Waterschap
Peel en Maasvallei

ONZEKERHEID BEEKPEILEN BIJ HERINRICHTING

Venlo, juli 2014

Larisse E. Keim
Advanced Technology, Universiteit Twente

René H. Buijsrogge
Water Engineering and Management, Universiteit Twente

Dr. Herman K.M. Hemmes
Advanced Technology, Universiteit Twente

Erik E.M. Raaijmakers
Projecten Watersysteem, Waterschap Peel & Maasvallei

Ing. Diana M.H. Kesselmans
Projecten Watersysteem, Waterschap Peel & Maasvallei

Ir. Jacques M.P.M Peerboom
Toestand- en Trendanalyse, Waterschap Peel & Maasvallei

Samenvatting

Het Waterschap Peel & Maasvallei richt beken opnieuw in om de intrinsieke ecologische waarde van de beek te herstellen. Na de herinrichting van deze beken constateert men echter een ander waterpeil dan aanvankelijk ontworpen is.

Hogere waterpeilen kunnen zorgen voor overlast. Structureel hogere waterstanden geven een hoog grondwaterpeil, hierdoor treden natschades bij landbouw op. Het risico op inundatie is groter en de ecologische doelen die men heeft beoogd kunnen door een te hoog peil niet bereikt worden. Het Waterschap wil om deze redenen hogere waterstanden voorkomen en graag inzicht verkrijgen in de onzekerheden van de beekpeilen bij herinrichting.

De onzekerheden van de parameters stromingsweerstand, afvoer en bodembreedte worden in beeld gebracht door middel van een gevoeligheid- en onzekerheidsanalyse. De Monte-Carlo methode is een goede analysemethode wanneer men te maken heeft met een onzekerheid in invoer.

De theoretische beek waarbij de analyse wordt uitgevoerd, is tot stand gekomen door een nieuwe profielbepalingstool. Deze tool geeft opties voor dwarsprofielen op basis van randvoorwaarden. Van een gemiddelde beek met een afvoer van een $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$, bodembreedte 1.5 m en een stromingsweerstand ($K_{\text{Strickler}}$) van $20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ is uitgegaan in dit onderzoek.

Een verschil van waterstand tussen ontwerp en realiteit komt niet alleen door de invoeronzekerheden. Het blijkt dat de dwarsprofielmogelijkheden binnen SOBEK voor verschillende waterstanden zorgen. Wanneer de invoer identiek is en alleen het type dwarsprofielinvoer gewijzigd wordt, resulteert dit toch in een andere modeluitkomst.

De gemiddelde beek is gemodelleerd in de nieuwe SOBEK 3 Suite. Rond dit model zijn twee scripts geschreven die snel waterstanden kunnen berekenen met verschillende invoerparameters. De scripts zijn zodanig aangepast dat een Monte-Carlo analyse in SOBEK 3 mogelijk is.

Uit de analyse komt naar voren dat de onzekerheid van de stromingsweerstand en de afvoer een sterke invloed hebben op de waterpeilen. De bodembreedte zorgt voor vrijwel geen verandering in waterstand. De resultaten laten zien dat de onzekerheid in de waterpeilen vrij groot is. Zelfs wanneer de theoretische beek met een buffer van 30 centimeter is ontworpen, is er toch een kans van circa 8 % dat de beek overloopt bij een maatgevende afvoer.

Men moet rekening houden met afwijkingen in de gemodelleerde waterpeilen uit SOBEK. Uit verder onderzoek zal moeten blijken of andere parameters onzekerheid toevoegen.

Voorwoord

Dit rapport beschrijft de bachelor eindopdracht die ik heb uitgevoerd voor de studie Advanced Technology aan de Universiteit Twente. Na een aantal jaar Advanced Technology te hebben gestudeerd zal ik na deze bachelor eindopdracht starten met de master 'Civil Engineering - Water Engineering and Management'. Deze stage was een goede voorbereiding en uitdagende kennismaking met wat mij de komende twee jaar te wachten staat!

Na een gastcollege over beekbeheer en herinrichting bij het vak inleiding waterbeheer te hebben gevolgd, ben ik enthousiast geworden over het waterschap. Om zelf te kunnen meemaken wat er allemaal binnen deze organisatie speelt, wilde ik erg graag mijn bachelorstage bij een waterschap realiseren om hier zoveel mogelijk te ontdekken. Hier kreeg ik tijdens mijn stage ook zeker de ruimte voor. Zo ben ik bij verschillende symposia geweest, heb ik een dag meegelopen met grondverwerker Herbert, een dag veldwerk macrofauna in de beek met biologen Erik en Jeroen ontdekt, een inloopbijeenkomst voor omwonenden bezocht met projectleider Michel en heb ik alle relevante vergaderingen bijgewoond.

Graag wil ik mijn begeleiders bij het Waterschap, Jacques Peerboom, Erik Raaijmakers en Diana Kesselmans, bedanken. Ik kon altijd bij jullie terecht als het weer eens tegen zat met SOBEK 2, SOBEK 3, MatLab of mijn eigen perfectionisme. Ook dank aan mijn universitair begeleider René Buijsrogge die me op de goede momenten motiveerde.

Verder wil ik alle collega's van het Waterschap Peel & Maasvallei bedanken voor de fijne tijd die ik in het verre Limburg gehad heb. De vlaai die we elke feestelijkheid samen aten was erg lekker!

Venlo, juli 2014

Larisse Keim

INHOUDSOPGAVE



INLEIDING	11
AANLEIDING	12
ONDERZOEKSDOEL	12
LEESWIJZER	13
THEORETISCH KADER	15
ONDERZOEKSMETHODE	19
PROFIELBEPALING	20
SOBEK 2	22
SOBEK 3	22
GEVOELIGHEIDSANALYSE	23
KWANTIFICERING ONZEKERHEDEN	23
<i>Stromingsweerstand</i>	24
<i>Bodembreedte</i>	24
<i>Maatgevende afvoer</i>	24
ONZEKERHEIDSANALYSE	25
ONDERZOEKSRISULTATEN	27
PROFIELBEPALING	28
GEVOELIGHEIDSANALYSE	28
KWANTIFICERING ONZEKERHEDEN	29
<i>Stromingsweerstand</i>	29
<i>Bodembreedte</i>	30
<i>Maatgevende afvoer</i>	31
ONZEKERHEIDSANALYSE	31
CONCLUSIE & AANBEVELINGEN	33
REFERENTIES	37
BIJLAGEN	39
I. UITBREIDING PROFIELBEPALINGSTOOL	40
II. YZ VERSUS TRAPEZIUM	42
III. SOBEK-SCRIPTS	45
IV. REVISIEMETINGEN TUNGELROYSEBEEK	50
V. SOBEK	51

INLEIDING



Aanleiding

Het Waterschap Peel & Maasvallei is een van de 24 waterschappen in Nederland. Een waterschap is een regionaal overheidsorgaan, waarvan het bestuur wordt gekozen middels een waterschapsverkiezing. De 25 gekozen leden vertegenwoordigen verschillende belangen van de burgers, samengevat in: waterkwaliteit, waterkwantiteit en waterveiligheid. Het beheersgebied van het Waterschap Peel & Maasvallei omvat Noord- en Middel Limburg, met als gemeenten: Gemeente Beesel, Bergen, Gennep, Horst aan de Maas, Leudal, Maasgouw, Mook & Middelaar, Nederweert, Peel & Maas, Roermond, Venlo, Venray en Weert.

De waterlopen in het oude cultuurlandschap uit 1950 zijn bijna geheel door de mens rechtgetrokken. De natuurlijke situatie is bij veel huidige beken niet te bekennen [1]. Door de normalisering van de waterlopen in Nederland is de ecologische toestand niet op het juiste niveau. De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) ontwikkelde maatlaten die voor alle natuurlijke watertypen een referentietoestand beschrijven [2].

Het waterschap in Noord- en Midden Limburg is een voorloper op het gebied van beekherstel en herinrichting [1]. De organisatie voert al jarenlang veel beekherstelprojecten uit. Na de herinrichting van meerdere beken blijkt dat de beken zich anders gedragen dan gemodelleerd. Met als belangrijkste afwijking dat de waterpeilen zowel hoger als lager zijn dan verwacht. Dit probleem is de aanleiding van onderzoek naar de invloeden van meerdere parameters op de waterstand. Door een onzekerheidsanalyse van de waterpeilen uit te voeren verwacht het Waterschap een beter beeld te krijgen van de mogelijke afwijkingen in de waterpeilen.

Onderzoeksdoel

Naar aanleiding van de probleemstelling: 'onzekerheid beekpeilen bij herinrichting' zijn meerdere onderzoeksvragen opgesteld. Deze vragen zullen in de loop van het onderzoek beantwoord worden.

De onderzoeksvragen die tijdens het vooronderzoek zijn geformuleerd zijn als volgt:

Hoofdvraag 1 *Wat is de beste methode om een onzekerheidsanalyse uit te voeren op de variabelen 'stromingsweerstand', 'afvoer' en 'dwarsprofielen' om te komen tot een goed beeld van mogelijke afwijkingen van toekomstige waterpeilen?*

- *Welke methoden kunnen er gebruikt worden om een onzekerheidsanalyse uit te voeren in het SOBEK-model?*

- *Wat is per parameter de mate van afwijking die gemodelleerd dient te worden?*

Hoofdvraag 2 *In welke mate hebben de variabelen ‘stromingsweerstand’, ‘afvoer’ en ‘dwarsprofielen’ invloed op de waterpeilen in de modellering?*

-Wat is de ordegrootte van de afwijking per parameter?

-Hoe ligt de kansverdeling van de genoemde parameters?

Hoofdvraag 3 *Zijn er andere onzekerheden die invloed hebben op de waterpeilen in modellering?*

Hoofdvraag 4 *Welke parameters zijn belangrijk voor het bepalen van een juist theoretisch profiel?*

-Hoe wordt een correct dwarsprofiel voor het theoretische model bepaald?

Hoofdvraag 5 *Welke beekspecificaties zijn het meest geschikt voor het te gebruiken theoretisch model?*

Hoofdvraag 6 *Hoe kan de onzekerheid van de beekpeilen in beeld worden gebracht?*

Een gevoeligheids- en een onzekerheidsanalyse, verder uitgewerkt in hoofdstuk 2, worden toegepast om de onzekerheid in beekpeilen bij herinrichting inzichtelijk te maken.

Leeswijzer

In het eerste hoofdstuk, ‘theoretisch kader’, worden de beschrijvende onderzoeksvragen beantwoord. Hoofdstuk 2 bevat de onderzoeksopzet; de gebruikte onderzoeksmethoden worden hier uitvoerig besproken. In hoofdstuk 3 zullen de resultaten gevisualiseerd en geanalyseerd worden. Het laatste hoofdstuk, hoofdstuk 4, geeft een uiteindelijk antwoord op de probleemstelling. Conclusies worden getrokken op basis van de resultaten uit hoofdstuk 3 en aanbevelingen worden gegeven.

H1 THEORETISCH KADER



In dit hoofdstuk worden de beschrijvende onderzoeksvragen beantwoord. Bij de overige onderzoeksvragen wordt voor antwoorden verwezen naar het juiste hoofdstuk.

Hoofdvraag 1 Wat is de beste methode om een onzekerheidsanalyse uit te voeren op de variabelen 'stromingsweerstand', 'afvoer' en 'dwarsprofielen' om te komen tot een goed beeld van mogelijke afwijkingen van toekomstige waterpeilen?

Om de invloed van de variantie in de verschillende inputparameters op de output van het SOBEK-model te bepalen is gebruik gemaakt van de Monte-Carlo Methode. De Monte-Carlo analyse biedt de mogelijkheid om via een numerieke weg de onzekerheden in de inputs van een systeem om te zetten in de onzekerheid in de output, waar dit analytisch niet mogelijk is. Deze methode is ontstaan vlak na de 2^e wereldoorlog; de ontwikkelde ENIAC computer maakte het voor het eerst mogelijk om technieken te gebruiken die zijn gebaseerd op statistisch samplen [3].

De naam 'Monte Carlo' is afgeleid van de naam van een casino en is blijven hangen tijdens de ontstaansgeschiedenis van deze methode [3]. Stan Ulam en Nicholas Metropolis, enkele van de oorspronkelijke ontwikkelaars, hebben de methode in 1949 al beschreven [4]. De toepasbaarheid van Monte Carlo simulaties is erg breed, van oorsprong vooral in de mechanische, natuur- en scheikundige richtingen [5], maar meer recentelijk bijvoorbeeld ook in de financiële sector[6].

De simulaties in dit onderzoek zijn uitgevoerd door middel van aangepaste scripts in SOBEK 3. Voor twee van de parameters kon er een kansverdeling worden vastgesteld waaruit is getrokken tijdens de simulaties. Voor één parameter, de expert-inschattingen voor stromingsweerstand (K_s), was het niet mogelijk gebruik te maken van een kansverdeling. Voor deze parameter is bootstrapping van de door de experts ingeschatte onzekerheidsmarge toegepast [7].

- Welke methoden kunnen er gebruikt worden om een onzekerheidsanalyse uit te voeren in het SOBEK-model?

De SOBEK-versie die het Waterschap gebruikt is te beperkt, het model moet handmatig gestart worden wil men meerdere simulaties uitvoeren. De nieuwe SOBEK Suite, beschreven in bijlage 5, biedt mogelijkheden voor het simuleren van grote variërende reeksen invoerparameters.

Hoofdvraag 2 In welke mate hebben de variabelen 'stromingsweerstand', 'afvoer' en 'dwarsprofielen' invloed op de waterpeilen in de modellering?

De gevoeligheidsanalyse in hoofdstuk 3 geeft een duidelijk beeld van de invloeden van de individuele parameters op de waterpeiling in modellering.

-
- Wat is de ordegraote van de afwijking per parameter?*
 - Hoe ligt de kansverdeling van de genoemde parameters?*

In hoofdstuk 3, paragraaf kwantificering onzekerheden worden duidelijk de ordegraote van de afwijking en de kansverdelingen van de individuele parameters beschreven.

Hoofdvraag 3 Zijn er andere onzekerheden die invloed hebben op de waterpeilen in modellering?

Binnen de genoemde parameters zijn genoeg onzekerheden die invloed hebben op de waterpeilen, maar daarnaast spelen andere variabelen een rol in de onzekerheid van de waterstand.

Het programma SOBEK waar mee gewerkt wordt tijdens het onderzoek kent vele mogelijkheden. Zo zijn er bijvoorbeeld tal van keuzes bij het invoeren van een dwarsprofiel. Het Waterschap gebruikt al jaren de YZ-invoer. Deze manier van invoeren van het dwarsprofiel biedt de meeste mogelijkheden; per gedeelte kan een aparte stromingsweerstand gegeven worden. Dit dwarsprofielinvoer kan eenvoudig met de ingemeten YZ-coördinaten gegevens herleiden.

Een verschil in berekening is er echter wel. Na meerdere theoretisch beken naast elkaar te modelleren met verschillende methoden voor de dwarsprofieleninvoer, verschenen er sterk uitlopende waterstanden. Het blijkt dat de YZ-invoer gebaseerd is op een “vertically segmented conveyance” methode [8], waardoor de voorspelde waterstanden lager zijn dan deze daadwerkelijk zijn. Tijdens de berekening van de waterstand wordt het dwarsprofiel in stukken geknipt. Per gebied wordt een afvoer berekend waarna deze bij elkaar opgeteld worden. Door het dwarsprofiel in stukken op te delen wordt de weerstand van het schuine talud verwaarloosd in het midden van de waterloop. Hierdoor zal de berekening met een gemiddeld lagere weerstand worden uitgevoerd, dit heeft een hogere afvoer en lagere gemodelleerde waterstand als gevolg.

Voor grote waterlopen heeft het verwaarlozen van de stromingsweerstand van het talud relatief weinig invloed. De lengte van zijkanten zijn immers verhoudingsgewijs veel kleiner dan de bodembreedte. In bijlage 2 is de uitgebreide constatering met gevisualiseerde voorbeelden, later verzonden is aan de SOBEK-helptdesk, weergegeven.

Hoofdvraag 4 Welke parameters zijn belangrijk voor het bepalen van een juist theoretisch profiel?

Interviews met de hydrologen van het team projecten binnen het Waterschap Peel & Maasvallei hebben inzicht gegeven in de belangrijke parameters voor het bepalen van een juist theoretisch profiel. De parameters: maatgevende afvoer, stromingsweerstand, drooglegging, verhang, taludverhouding, bodembreedte en profieldiepte zijn van belang bij het herinrichten van een beek.

-Hoe wordt een correct dwarsprofiel voor het theoretische model bepaald?

Op basis van geanalyseerde data van huidige beken is een gemiddelde beek tot stand gekomen. Samen met de profielbepalingstool, beschreven in bijlage 1, is een correct dwarsprofiel bepaald.

Hoofdvraag 5 Welke beekspecificaties zijn het meest geschikt voor het te gebruiken theoretisch model?

De invoerparameters die gebruikt worden als invoer voor de gevoeligheids- en onzekerheidsanalyse zijn weergegeven in tabel 2.

Hoofdvraag 6 Hoe kan de onzekerheid van de beekpeilen in beeld worden gebracht?

De resultaten van de Monte-Carlo analyse zullen in een histogram gevisualiseerd worden. Alle berekende waterstanden worden tegen de frequentie van voorkomen uitgebeeld. Door de resultaten op deze manier weer te geven, wordt de kansverdeling van de onzekerheid in beekpeilen inzichtelijk gemaakt. Tevens zal de verwachtingswaarde en een onzekerheidsmarge in het histogram toegevoegd worden.

Een cumulative distribution function (CDF) illustreert duidelijk de onzekerheid van waterpeilen. Uit deze grafiek kan men helder aflezen wat de kans is dat de waterstand lager is dan een gekozen waarde. In deze grafiek zullen de karakteristieke waarden van basisinvoer, verwachtingswaarde en rand van de beek weergegeven worden.

H2 ONDERZOEKSMETHODE



Modelanalyse kent een aantal belangrijke stappen, te weten: gevoeligheidsanalyse, kwantificering onzekerheden en onzekerheidsanalyse [9]. Dit hoofdstuk worden de onderzoeksmethoden uitgelegd die later in dit onderzoek van toepassing zijn.

Profielbepaling

Het realiseren van een theoretisch model in SOBEK vraagt goed gekozen invoerparameters. Talloze variabelen hebben invloed op het maken van een realistisch model. Het bepalen van een juist profiel bij typerende afvoeren vereist daardoor enig vooronderzoek.

Een goede inschatting voor de waterstand bij stationaire en permanente stromingen wordt gegeven door de Manning-formule [10], hieronder beschreven in equation 1. SOBEK rekent echter met een andere vergelijking die wel rekening houdt met dynamische situaties waarbij opstuwung plaatsvindt. Deze vergelijking is beschreven in bijlage 5.

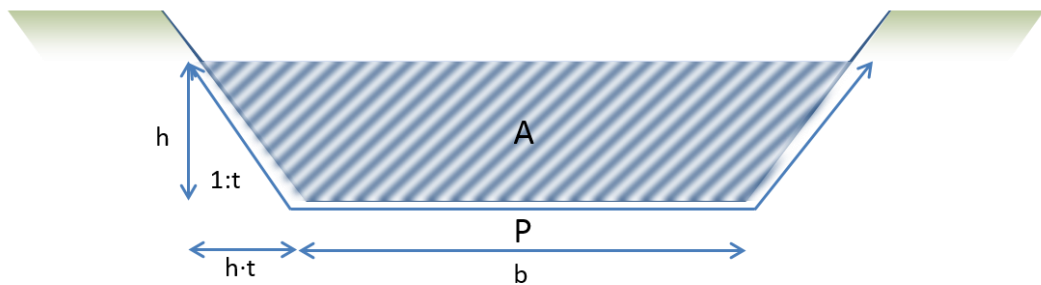
Hydrologen binnen het Waterschap Peel & Maasvallei gebruiken bij herinrichting van beken een door Erik Raaijmakers zelfgeschreven tool in Excel. Men geeft als invoer een dwarsprofiel en een waterstand, waarna de tool de maximale afvoer berekent.

EQ 1

Manning-formule

$$Q = A \cdot R^{2/3} \cdot K_S \cdot \sqrt{I}$$

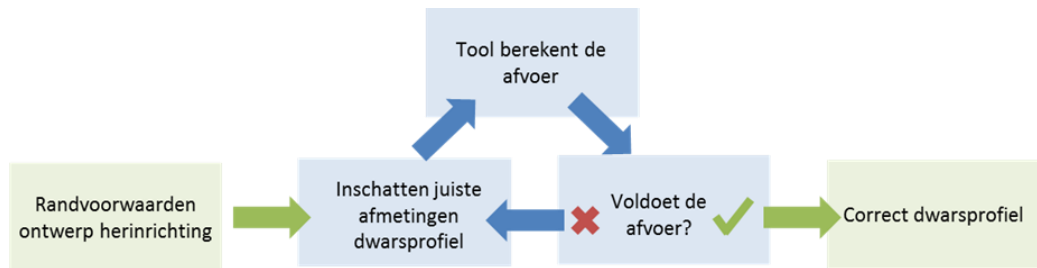
$$R = \frac{A}{P}; \quad A = h \cdot t \cdot h + b \cdot h$$



Parameter	Symbol	Eenheid	Parameter	Symbol	Eenheid
Afvoer	Q	[m ³ /s]	Natte omtrek	P	[m]
Doorstroomde oppervlak	A	[m ²]	Waterstand	h	[m]
Hydraulische straal	R	[m]	Taludverhouding	t	[m]
Stromingsweerstand (Strickler)	K _s	[m ³ /s]	Bodembreedte	b	[m]
Verhang	I	[m/km]			

Wanneer de hydroloog een nieuwe beek wil ontwerpen is de afvoer reeds vastgelegd. De beschikbare tools geven de afvoer als output op basis van de waterstand in het dwarsprofiel, terwijl men eigenlijk behoefte heeft aan de afvoer als invoerparameter. Op de oude manier, geïllustreerd in figuur 1a, wordt de berekening van de afvoer herhaald totdat een acceptabele waarde naar voren komt.

FIG 1a Oude profielbepalingstool



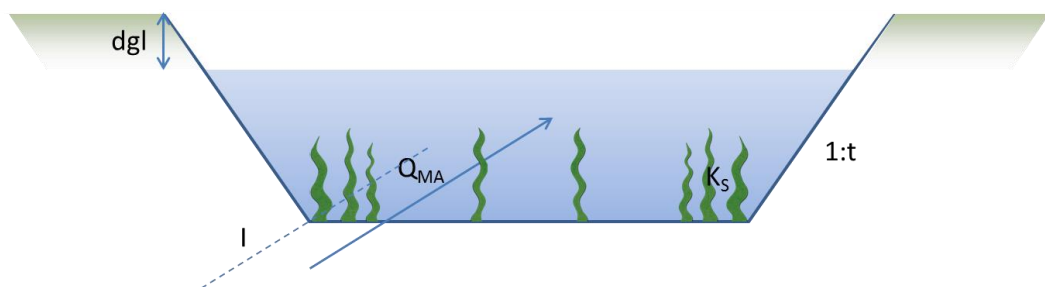
Een nieuwe profielbepalingstool, zie figuur 1b, die op basis van de afvoer een dwarsprofiel geeft met een aantal berekende waterstanden zou zeer welkom zijn. Op deze manier wordt de handmatige iteratieve stap om tot de juiste afvoer te komen overbodig. De nieuwe profielbepalingstool biedt de mogelijkheid om met slechts enkele relevante parameters een drietal opties voor mogelijke dwarsprofielen te genereren.

FIG 1b Nieuwe profielbepalingstool



De parameters die als invoer dienen te worden opgegeven zijn: maatgevende afvoer (Q_{MA} [m^3/s]), winterstromingsweerstand (K_s -winter [$m^{1/3}/s$]), zomerstromingsweerstand (K_s -zomer [$m^{1/3}/s$]), drooglegging (dgl [m]), verhang (l [m/km]) en taludverhouding (t [-]). In figuur 2 is dit verduidelijkt. In bijlage 1 wordt dieper ingegaan op de werking van deze nieuwe profielbepalingstool.

FIG 2 Invoerparameters profielbepalingstool in dwarsprofiel



SOBEK 2

De huidige modelleromgeving die gebruikt wordt bij het Waterschap Peel & Maasvallei is SOBEK 2.13. Het softwarepakket biedt de mogelijkheid om numeriek simulaties van waterlopen uit te voeren. De functionaliteiten waar de hydrologen gebruik van maken zijn o.a.: het inzichtelijk maken van de werking van het huidige watersysteem, het berekenen van waterpeilen, het toetsen van extremen, het ontwerpen/herinrichten van beken [8].

Zoals eerder in hoofdstuk 1 besproken ervaart men, voornamelijk bij heringerichte beken, vaak afwijkingen tussen de voorspelde en gemeten waterstanden. Naast de onzekerheden in de invoerparameters is ook een andere oorzaak gevonden, namelijk in het model. De invoer van het YZ-dwarsprofiel blijkt invloed te hebben op de waterpeilen. In bijlage 5 wordt de functionaliteit en werking van het modellerprogramma SOBEK nader uitgelegd.

SOBEK 3

Een nieuwe uitgebreidere versie van SOBEK is momenteel in ontwikkeling, de bèta-versie van de SOBEK Suite biedt de mogelijkheid om rond het watermodel een script aan te roepen. Met de vele mogelijkheden van het scripten kan men snel parameteraanpassingen maken waardoor het model vele berekeningen snel achter elkaar kan maken zonder eerst invoerwaarden te moeten veranderen.

Gevoeligheidsanalyse

Een geschikte methode, beschreven in het theoretisch kader, om de gevoeligheidsanalyse uit te voeren op de verscheidene parameters is de univariaat-analyse [9]. Elke variabele wordt afzonderlijk aangepast waarna de waterstand wordt berekend. Een indruk van de invloed van de onzekerheidsbronnen van afvoer, stromingsweerstand en bodembreedte zal worden gegeven in een verduidelijkende grafiek.

In de nieuwe SOBEK Suite worden de invoerparameters afvoer, bodembreedte en stromingsweerstand individueel gevarieerd waarna de waterstand per variatie berekend zal worden. Dit houdt in dat er gestart wordt met parameters van een basisbeek (bepaald door de profielbepalingstool). Het geschreven script verandert eerst de afvoer in stappen, van 20 procent tot 180 procent van deze initiële waarde. De invoer is geïllustreerd in tabel 1. Vervolgens wordt de waarde van de afvoer gereset en herhaalt de procedure zich voor de overige parameters. Deze gemeten waterstanden worden gevisualiseerd met behulp van MatLab, zodat een illustrerende curve per parameter de invloeden duidelijk weergeeft.

TAB 1 Procentuele invoer per parameter

Q _{MA} [%]								
20	40	60	80	100	120	140	160	180
K _s [%]								
20	40	60	80	100	120	140	160	180
b [%]								
20	40	60	80	100	120	140	160	180

Kwantificering onzekerheden

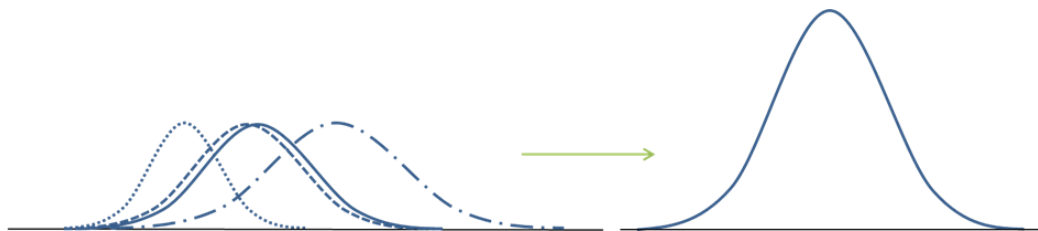
De statistische onzekerheid moet per invoerparameter bepaald worden voordat een onzekerheidsanalyse over de uitkomst kan worden uitgevoerd. De bodembreedte en maatgevende afvoer worden bepaald op basis van data die beschikbaar gesteld is door het Waterschap. De variabele stromingsweerstand is echter niet eenvoudig te vinden. Voor een goede kwantificering ontbreekt de nodige data, om deze reden zal gebruik gemaakt worden van expertkennis van de hydrologen.

Stromingsweerstand

De variabele stromingsweerstand K_s wordt bepaald en ingevoerd door de hydroloog, de stromingsweerstand is geen vaste waarde die gemeten kan worden en verschilt dus per persoon. Een enquête onder de hydrologen binnen het Waterschap is gehouden over de invoer van de stromingsweerstand. Gevraagd werd naar hun ervaringen met deze weerstand bij de invoer en aanpassing na kalibratie van het model. De K_s is niet normaal verdeeld, er kan dus geen eenvoudige methode gebruikt worden om de waarden van de experts samen te voegen. Een oplossing voor dit probleem is om de opgegeven onzekerheden van de experts bij elkaar te nemen. Uit deze sample wordt bij invoer van de Monte-Carlo analyse een waarde getrokken. Figuur 3 laat zien hoe de stromingsweerstandsspreiding wordt bepaald op basis van experts.

FIG 3

Schematische weergave samenvoegen expertkennis



Bodembreedte

Revisiemetingen van dwarsprofielen van de Tungelroysebeek (verduidelijkt in bijlage 4) zullen inzicht geven in de verandering van het dwarsprofiel ten opzichte van het ontwerp. Deze metingen zijn enkele jaren na aanleg nauwkeurig ingemeten. Het ontwerpprofiel en de revisiemeting zijn duidelijk af te lezen in de beschikbare data. Op basis van deze data wordt de standaarddeviatie bepaald.

Maatgevende afvoer

De maatgevende afvoer bij het Waterschap Peel & Maasvallei geeft de afvoer aan die 1 dag per jaar voorkomt. Deze afvoer is bepaald door binnen een meetreeks van de afgelopen 10 jaar de hoogste 10 waarden te noteren en hierbij het 10^e getal te nemen.

In het SOBEK-model wordt er op meerdere punten de afvoer ingevoerd. Dit gebeurt op basis van de MaatgevendeAfvoeren-kaart (MA-kaart 2.0) die samengesteld is door het Waterschap.

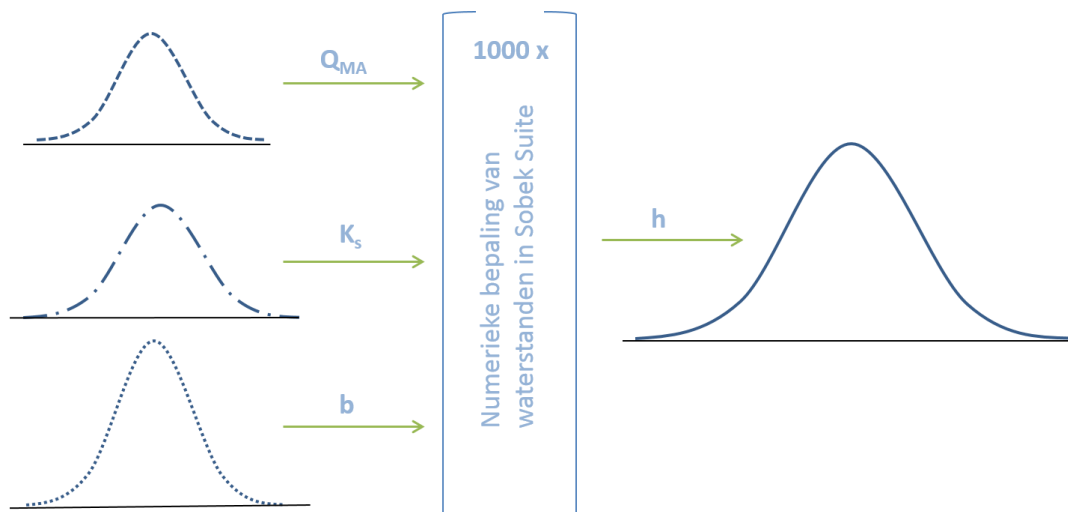
De onderzoeksinstantie Alterra heeft voor het Waterschap een specifieke-afvoerenkaart opgesteld dat per gebied een indicatie geeft van de afvoer van het grondwater naar de waterloop. Het geeft als het ware indicatie van de hoeveelheid afstromend grondwater naar de waterlopen in een gebied.

De gegevens van deze specifieke-afvoerenkaart zijn gecombineerd met de gemeten maatgevende afvoer. Een correctiefactor op basis van de gemeten afvoeren is toegepast op de specifieke-afvoerenkaart. Deze correctiefactoren bieden een inzicht in onzekerheid in de afvoerenkaart.

Onzekerheidsanalyse

Zoals eerder in dit hoofdstuk beschreven is er een aantoonbare onzekerheid binnen de invoerparameters. Een bruikbare methode voor het analyseren van de onzekerheid in waterpeilen is vanwege de invoeronzekerheden de Monte-Carlo analyse (eerder beschreven in hoofdstuk 1). In figuur 4 is een schematische weergave gemaakt van de werking van deze onzekerheidsanalyse.

FIG 4 Schematische weergave Monte-Carlo analyse



Elke numerieke bepaling van de waterstand heeft een combinatie van de drie parameters afvoer, stromingsweerstand en bodembreedte nodig. Bij elke simulatie wordt een waarde van de parameter getrokken uit de eerder bepalen kansverdeling. De numerieke simulatie voor bepaling van de waterstanden in de nieuwe SOBEK-versie wordt duizend keer uitgevoerd. Het script (beschreven in bijlage 3), trekt de dus invoerparameters uit een eerder vastgestelde kansverdeling. De onzekerheid van de waterstand die door deze analyse gevonden wordt, zal in MatLab in beeld gebracht worden zoals beschreven in het theoretische kader, hoofdstuk 1.

H3 ONDERZOEKSRESULTATEN



Resultaten van de gevoeligheid- en onzekerheidsanalyse worden geïllustreerd en geanalyseerd in dit hoofdstuk.

Profielbepaling

Een theoretische beek is tot stand gekomen met behulp van de profielbepalingstool, beschreven in bijlage 1. De gemiddelde beek is samen met de hydrologen van het team projecten gekozen, waarna een de overige parameters bepaald zijn met profielbepalingstool. Een overzicht van de gebruikte parameters is in tabel 2 te vinden.

TAB 2 Invoerparameters

Parameter	Symbol	Waarde	Eenheid
Maatgevende afvoer	Q_{MA}	0.5	[m ³ /s]
Stromingsweerstand	K_s	20	[m ² /s]
Drooglegging	dgl	0.3	[m]
Verhang	l	0.3	[m/km]
Taludverhouding	t	1:2	[-]
Bodembreedte	b	1.5	[m]
Profiel diepte	pd	1.125	[m]

Gevoeligheidsanalyse

De invoervariabelen afvoer, bodembreedte en stromingsweerstand, bepaald met behulp van de profielbepalingstool, zijn in SOBEK Suite individueel gevarieerd van 20 procent tot 180 procent van hun originele waarde. De invoer van het script is in tabel 3 weergegeven.

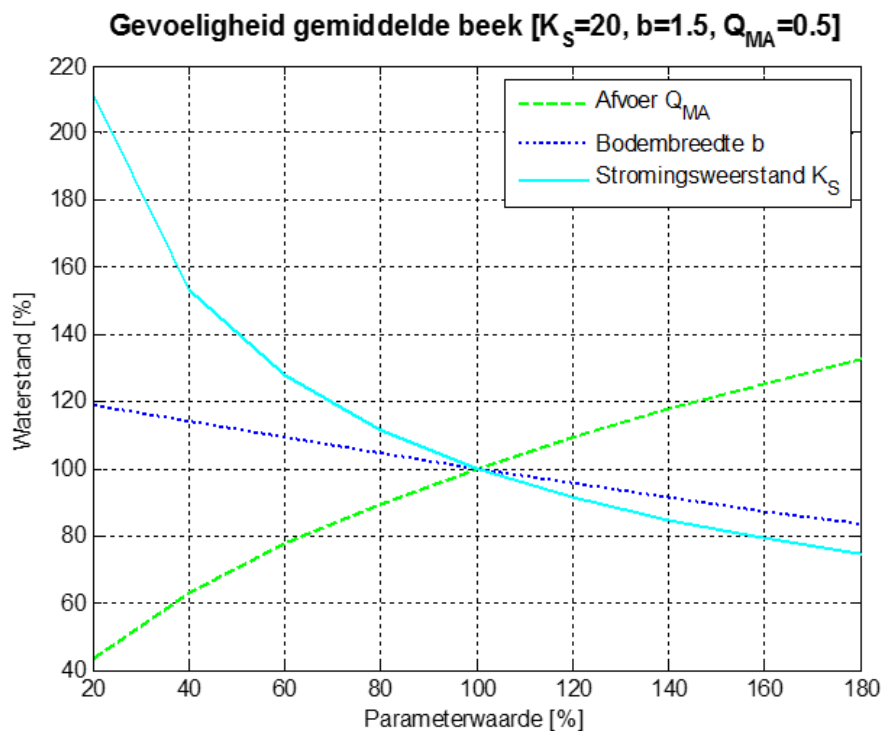
TAB 3 Scriptinvoer

Q_{MA} [m ³ /s]								
0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1.6	0.7	0.8	0.9
K_s -winter [m ² /s]								
4	8	12	16	20	24	28	32	36
b [m]								
0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7

De bijbehorende waterstanden bij deze verschillende invoercombinaties zijn weergegeven in de onderstaande figuur. Men kan uit figuur 5 aflezen wat de procentuele stijging van de waterstand is ten opzichte van de procentuele stijging in de gewenste parameter. Wanneer enkel de maatgevende afvoer in dit specifieke geval zal stijgen met 60%, dan is de waterstand 25% hoger dan de initiële waarde.

De grafiek geeft duidelijk weer dat een verlaging van de stromingsweerstand een sterk effect heeft op de waterstand. De verandering in bodembreedte heeft, in verhouding tot de andere parameters, nauwelijks effect. Het script is nader uitgelegd in bijlage 3.

FIG 5 Gevoeligheid individuele parameters



Kwantificering onzekerheden

Stromingsweerstand

Zes experts zijn gekozen om een inschatting te geven van de onzekerheid in stromingsweerstand bij herinrichting. Deze zes hydrologen hebben een verdeling beschreven waarbinnen zij 95% van de gevallen verwachten. Deze verdelingen zijn bij elkaar opgeteld en weergegeven in figuur 6. Uit deze figuur blijkt dat de gemiddelde stromingsweerstand van de experts iets hoger ligt (lagere K_S -waarde) dan de basiswaarde die gebruikt wordt van de gemiddelde beek. Hierdoor zal de verwachte waterstand op basis van inschatting experts hoger liggen dan de basiswaterstand.

FIG 6 **Onzekerheid stromingsweerstand**

Bepaling onzekerheid stromingsweerstand K_S op basis van experts

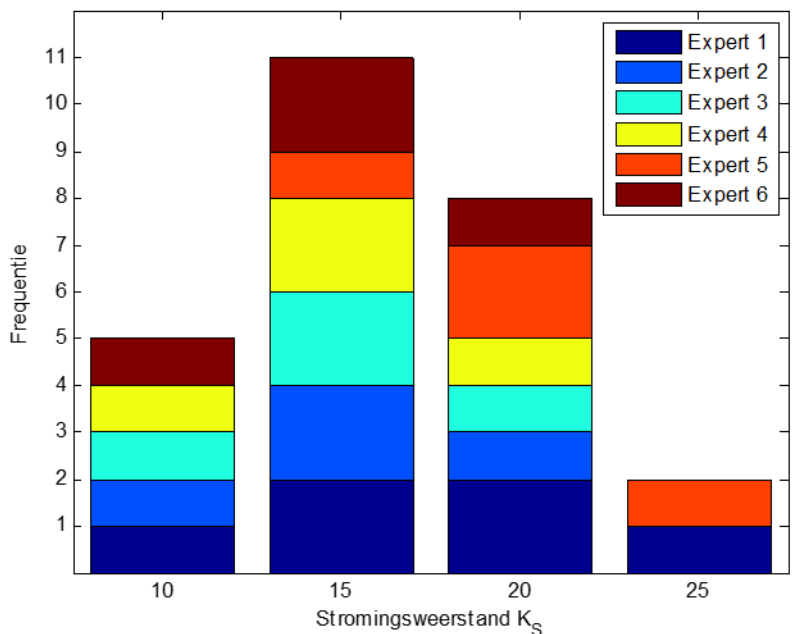


FIG 7 **Vastgesteld bereik K_S op basis van expertkennis**

10	10	10	10	10							
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
20	20	20	20	20	20	20	20				
25	25										

Bodembreedte

De data van de revisiemetingen van de Tungelroysebeek (bijlage 4) geven een duidelijk beeld van de onzekerheden in bodembreedte. Een standaarddeviatie van 10% voor een gemiddeld traject blijkt uit het bestuderen van de revisiemetingen. Sporadisch treden er extreme afwijkingen op, dit is het geval wanneer het ontwerp herzien is op enkele punten. Het nieuwe, bredere, dwarsprofiel is dan al correct in het SOBEK-model ingevoerd. Deze extreme afwijkingen zorgen dus niet voor een andere resultaat in de gemodelleerde waterstanden.

Maatgevende afvoer

De correctiefactoren hebben ieder een eigen gebied, de kilometers waterloop die per correctiefactor gekoppeld zijn, geven het gewicht aan deze factor. Wanneer er een hoger aantal kilometers aan een factor gekoppeld is zal de factor zwaarder meetellen bij het bepalen van het gemiddelde en de standaarddeviatie van de onzekerheid.

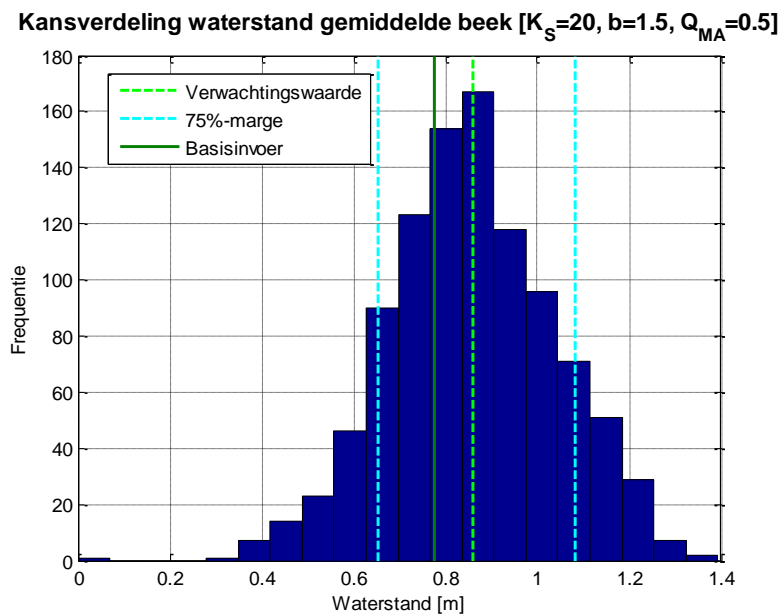
De standaarddeviatie is met de gewogen correctiefactoren berekend in MatLab. De kansverdeling is normaal verdeeld. Een gemiddelde beek bij een gemiddeld traject heeft een standaarddeviatie in de afvoer van circa 30%.

Onzekerheidsanalyse

Met behulp van het script, beschreven in bijlage 3, zijn de gekwantificeerde inputvariabelen ingevoerd in SOBEK. Het script heeft het model 1000 keer gerund, waarna de resultaten zijn opgeslagen. De kansverdeling van de resultaten zijn te zien in figuur 8, waar een histogram van de waterstanden is gemaakt.

De verwachtingswaarde van de waterstand blijkt hoger te liggen dan de basisinvoer van de standaard variabelen. Dit komt, zoals eerder beschreven in hoofdstuk 2, door de expertinput bij de stromingsweerstand. De gemiddelde expert geeft de weerstand een hogere waarde (lagere K_S -waarde) waardoor er een gemiddeld hogere waterstand naar voren komt. Een 75%-marge is aangegeven in het histogram, deze is bepaald door de 1000 resultaten op volgorde te zetten en vervolgens het 126^{ste} en het 874^{ste} getal te weergeven.

FIG 8 Kansverdeling onzekerheid waterpeilen bij herinrichting

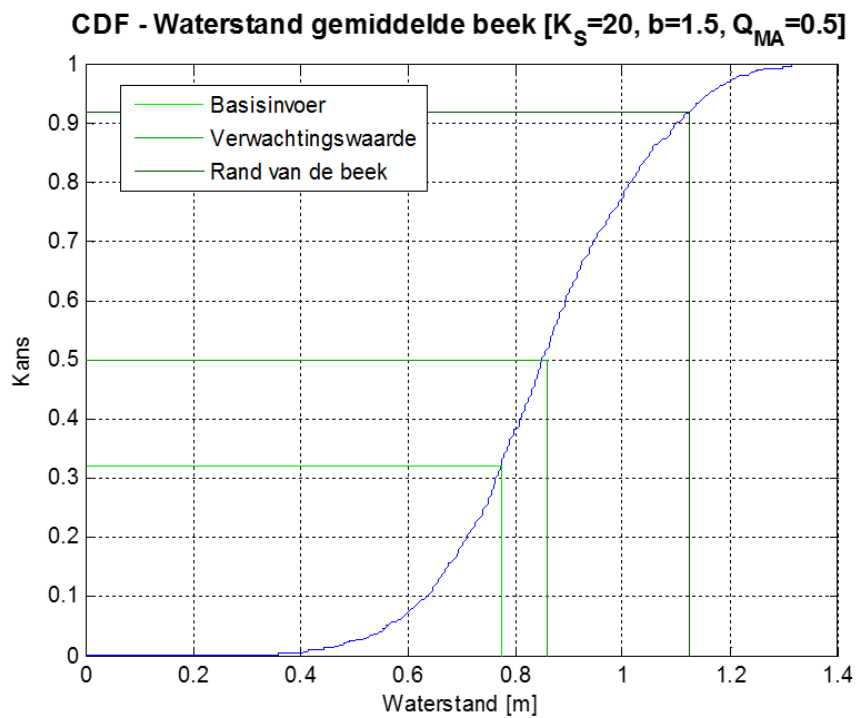


Een duidelijkere weergave van de onzekerheid in de waterpeilen bij herinrichting wordt geïllustreerd door de cumulatieve kansverdelingsfunctie (CDF). Figuur 9 geeft de opgetelde kansen van figuur 8 bij de genoemde waterstanden.

De verwachtingswaarde is het naar waarschijnlijkheid gewogen gemiddelde over de gehele verdeling.

De rand van de beek heeft een hoogte van 1.125 m. Deze waarde wordt in 92% van de gevallen niet overschreden. In 8% van de simulaties is er dus wel sprake van inundatie.

FIG 9 Cumulative distribution function – Onzekerheid waterstand



H4 CONCLUSIE & AANBEVELINGEN



Concluderend uit de gevoeligheidsanalyse van de drie variabelen 'stromingsweerstand', 'afvoer' en 'dwarsprofielen' uit hoofdstuk 3, wordt een duidelijk beeld gevormd van de invloed van de individuele parameters. De stromingsweerstand heeft een sterke invloed op de waterpeilen als deze maar lichtelijk een lagere waarde heeft. De afvoer heeft met een karakteristieke curve ook een grote invloed op de waterstand in de beek, terwijl de bodembreedte maar een matige verandering in de waterstand doorvoert.

Kwantificering van de onzekerheden toont aan dat de onzekerheid in de bodembreedte vrijwel geen invloed heeft op de afwijkende waterpeilen. De twee variabelen die een grote invloed hebben op de onzekerheid in waterstanden zijn de afvoer en de stromingsweerstand. De afvoer heeft bij een gemiddelde beek een standaarddeviatie van 30%.

De stromingsweerstand is niet normaal verdeeld en wordt door experts ingeschat tussen de 10 m³/s en 25 m³/s met een vastgestelde verdeling. Het is opvallend dat de stromingsweerstand niet normaal verdeeld is, wat is te verklaren doordat de input een menselijke handeling is. Uit de enquête blijkt dat hydrologen de weerstand in eerste instantie te laag inschatten en het later na kalibratie tot een hogere waarde hebben aangepast.

Uit de resultaten blijkt dat de onzekerheid van de waterpeilen vrij groot is. Uit de cumulatieve distributiefunctie blijkt dat er slechts een 92% kans is dat de waterpeilen lager zijn dan de rand van de beek. Terwijl de gemiddelde theoretische beek is ontworpen met een buffer van 30 centimeter, is er toch een kans van circa 8% dat de beek overloopt bij een maatgevende afvoer.

Aanbevelingen voor beter inzicht van onzekerheden zijn er binnen meerdere categorieën. Deze zullen hieronder per onderwerp besproken worden.

Profielbepaling

De profielbepalingstool zal uitgebreid moeten worden zodat meerdere typologieën voor de theoretische beken gekozen kunnen worden. Niet alleen de standaard beek zal snel analyseerbaar zijn, maar ook de andere typologieën, waarvan men veel gebruik van maakt bij herinrichting [12]. Tevens zal een uitgebreidere profielbepalingstool gebruikt kunnen worden om sneller tot een ontwerp te komen bij herinrichting.

Gevoeligheid

Het is belangrijk om meerdere parameters te analyseren. Naast afvoer, stromingsweerstand en bodembreedte is het gunstig dat ook de verandering van andere parameters inzichtelijk wordt gemaakt. Het verhang wordt nu over een groot traject gemeten, maar plaatselijke verschillen in deze parameter kunnen misschien ook voor afwijkingen in beekpeilen zorgen.

De gevoeligheden zijn per parameter geanalyseerd. Een multivariaat-gevoeligheidsanalyse zou in volgende onderzoeken meer inzichten kunnen geven.

Onzekerheid

In dit onderzoek is alleen een gemiddelde beek geanalyseerd. Idealiter worden alle onzekerheden bij herinrichting van alle relevante beken in kaart gebracht.

De invoeronzekerheden van de afvoer en stromingsweerstand hebben veel invloed op de onzekerheid in de waterpeilen. Verdiepingsonderzoek naar de afwijkingen van individuele invoerparameters is wenselijk. De inschatting van de afwijking in stromingsweerstand is nu slechts door een beperkt aantal experts bepaald. Om een beter beeld te krijgen van deze parameter zou men een groter onderzoek op basis van experts kunnen uitvoeren.

De standaardafwijking in de maatgevende afvoer is momenteel vrij hoog. Een gemiddelde beek heeft een standaarddeviatie van 30%, stroomopwaarts is deze marge zelfs groter. Wanneer de onzekerheid in de afvoer wordt verkleind zal de onzekerheid in beekpeilen ook afnemen. Het is belangrijk om de maatgevende afvoer beter in beeld te brengen, want dit is de enige haalbare verbetermaatregel.

SOBEK

Zoals in bijlage 2 beschreven heeft het invoertype van het dwarsprofiel invloed op de waterstand. De YZ-invoer die bij vrijwel alle waterschappen gebruikt wordt, verwaarloost de weerstand van het talud. Deze verwaarlozing van weerstand resulteert in een te laag voorspelde waterstand, waardoor sommige beken onterecht door de keuring komen. Een nieuwe berekening achter de YZ-invoer zou de waterstand wel op de juiste manier moeten berekenen. De SOBEK-helpdesk gaf aan deze optie in de volgende versie van SOBEK 2 te implementeren.

De stromingsweerstand is in de gehele waterloop van het SOBEK-model hetzelfde. Men weet dat de weerstand in bochten noemenswaardig hoger is, hier wordt geen rekening mee gehouden in het SOBEK-model. SOBEK is immers een 1D-model en bochten worden in de berekening niet meegenomen, omdat dit 2-d effecten zijn. De stromingsweerstand heeft veel invloed op de onzekerheid in waterpeilen, daarom is het verstandig om deze parameter misschien nauwkeuriger te benoemen. De stromingsweerstand kan bijvoorbeeld als functie van de langsrichting van de beek opgegeven worden.

Een script dat gekoppeld kan worden aan een waterloop zou de beste oplossing voor het inzichtelijk maken van onzekerheden zijn. Het script moet toegankelijk zijn en snel gekoppeld kunnen worden aan een bestaande beek zodat de gevoeligheid en onzekerheid automatisch berekend worden. Het huidige script biedt al enige mogelijkheden tot het veranderen van een groot aantal parameters, doch het is nog niet getest op een model van een bestaande beek.

Doordat de SOBEK Suite tijdens dit onderzoek nog in ontwikkeling was, zullen er na de bèta-versie meer mogelijkheden zijn voor scripting rond het SOBEK-model.

Praktijk

Voordat de onzekerheid door invoerparameters op beekpeilen in een praktijksituatie geanalyseerd kan worden, moet eerst de afwijking van het model zelf geminimaliseerd worden. De verkeerde dwarsprofiel-YZ-invoertype in SOBEK zorgt voor een lagere waterstand door het verwaarlozen van de stromingsweerstand van de taluds. Deze verwaarloosde taludweerstand wordt nu gecompenseerd door een hogere stromingsweerstand in te voeren. De fout door de verwaarloosde taludweerstand is echter niet lineair, evenals de stromingsweerstand. Men compenseert dus nu een niet-lineaire fout door een lineaire constante.

REFERENTIES



-
1. Krekels, R., Peeters, G. & Brouwer, T. (2003), *Handboek Streefbeeld en Natuur en Water in Limburg*, Tamminga
 2. Stowa (2009), *Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water*, Stowa
 3. Metropolis, N. (1987), *The beginning of the Monte Carlo method*, Los Alamos Science
 4. Metropolis, N., Ulam, S. (1949), *The monte carlo method. Journal of the American statistical association*
 5. Hammersly, J. M., Handscomb, D.C. (1964), *Monte carlo methods*. Methuen
 6. Glasserman, P. (2004), *Monte Carlo methods in financial engineering*. Springer
 7. Rubinstein, R. Y., Kroese, D. P. (2011), *Simulation and the Monte Carlo method*. John Wiley & Sons
 8. Deltares (2013), *SOBEK – Hydrodynamics, Rainfall Runoff and Real Time Control – User Manual*, Deltares
 9. Booij, M.J. (2014), *Inleiding Waterbeheer | Modellerlijn*, Universiteit Twente
 10. Manning, R. (1891), *On the flow of water in open channels and pipes. Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland*
 11. Deltares (2013), *SOBEK 3 – D-Flow 1D and D-RealTime Control in Delta Shell – User Manual*, Deltares
 12. Buskens, R. Barten, I., Kits, M., & Vermulst, H. (2012) *Handreiking Ontwikkeling Waterlopen*, Waterschap Aa en Maas
 13. Grotentraast, G.J. (1988), *Cultuurtechnisch vademecum*, Cultuurtechnische Vereniging
 14. Deltares (2013), *Delta Shell Commandline Documentation*, Deltares

BIJLAGEN



I. Uitbreiding profielbepalingstool

Momenteel bepalen hydrologen binnen het Waterschap Peel & Maasvallei hun dwarsprofielen bij herinrichting op basis van een Exceltool die kijkt of er genoeg water door de door hen bedachten bakjes kan. Wanneer de afvoer te hoog is wordt het bakje iets groter gemaakt, waarna opnieuw de 'past mijn afvoer in het bakje'-test uitgevoerd wordt. Deze stap wordt iteratief uitgevoerd totdat er een acceptabel dwarsprofiel naar voren komt. ($h \rightarrow Q$)

FIG 10 Huidige manier van ontwerp herinrichting beek

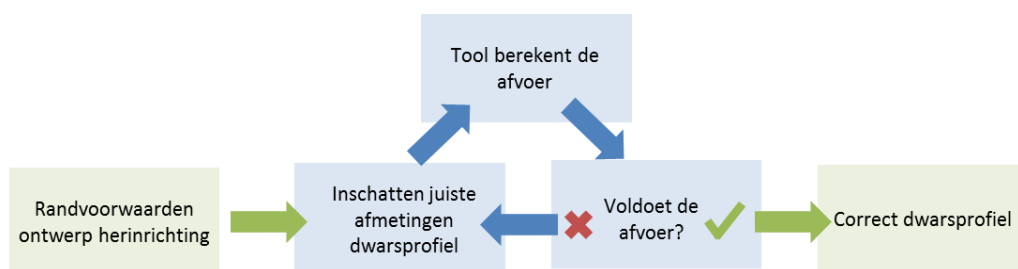
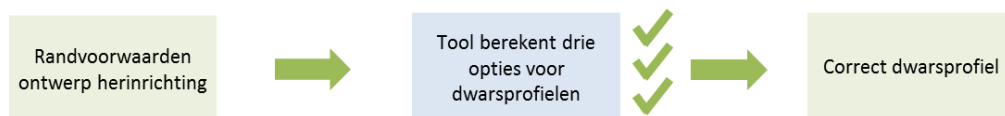
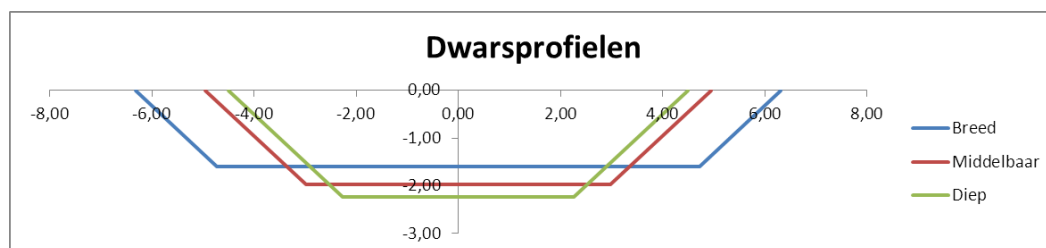


FIG 11 Geoptimaliseerde manier van bepalen dwarsprofielen



De profielbepalingstool die ik ga schrijven heeft als invoer: afvoer, stromingsweerstand (K_s), verhang, drooglegging en de taludverhouding. Op basis van deze gegevens geeft de tool drie opties met juiste waterstand-bodem Breedteverhouding [13] voor mogelijke dwarsprofielen. Bij deze drie opties zijn de waterstanden, stroomsnelheden en droogleggingen voor meerdere typerende afvoeren berekend. ($Q \rightarrow h$)

FIG 12 Drie berekende dwarsprofielen op basis van de nieuwe profielbepalingstool



Bij herinrichting van beken gebruikt men geen standaard recht bakje meer: twee-fasen-profielen, flauwe oevers en asymmetrische bakjes worden veel gebruikt. In de tool zal een ruime keuze aan verschillende dwarsprofielen, gebaseerd op 10 typologieën, aanwezig zijn [12].

De tool zal geschreven worden in Excel zodat deze vrij toegankelijk is. Een tekstuele uitleg van de beschrijvende formules worden per sheet duidelijk aangegeven. De lay-out wordt overzichtelijk gemaakt zodat na aanpassing van slechts enkele invoerparameters de resultaten helder zijn.

FIG 13 Voorbeeld output profielbepalingstool

3. Afvoer, stroomsnelheid, hoogte, drooglegging					
Breed		Q [m ³ / s]	v [m/s]	h [m]	dgl [m]
MA	100%	5,000	0,36	1,29	0,30
gemiddeld winter	50%	2,500	0,28	0,85	0,74
vol winter	142%	7,102	0,40	1,59	0,00
MA zomer	50%	2,500	0,24	1,01	0,58
gemiddeld zomer	20%	1,000	0,17	0,59	1,01
vol zomer	107%	5,326	0,30	1,59	0,00
Middelbaar		Q [m ³ / s]	v [m/s]	h [m]	dgl [m]
MA	100%	5,000	0,39	1,68	0,30
gemiddeld winter	50%	2,500	0,32	1,12	0,86
vol winter	133%	6,663	0,42	1,98	0,00
MA zomer	50%	2,500	0,26	1,32	0,65
gemiddeld zomer	20%	1,000	0,19	0,77	1,20
vol zomer	100%	4,997	0,32	1,98	0,00
Diep		Q [m ³ / s]	v [m/s]	h [m]	dgl [m]
MA	100%	5,000	0,40	1,93	0,30
gemiddeld winter	50%	2,500	0,33	1,30	0,92
vol winter	130%	6,498	0,43	2,23	0,00
MA zomer	50%	2,500	0,27	1,53	0,69
gemiddeld zomer	20%	1,000	0,20	0,90	1,32
vol zomer	97%	4,873	0,32	2,23	0,00

De nu al bestaande profielen kunnen in een apart gedeelte van de tool gecheckt worden. Men voert een huidig dwarsprofiel in, waarna de tool voor verschillende hoogtes bepaalde afvoeren aangeeft. Deze tool bestaat al met een invoer van één specifieke hoogte.

Eind augustus 2014 zal de profielbepalingstool opgeleverd worden.

II. YZ versus Trapezium

Bij de keuze van een invoertype dwarsprofiel, YZ-profiel of trapezium, kwam ik tot de ontdekking dat de dwarsprofielen hetzelfde lijken, maar echter anders berekend worden. Met als resultaat een zeer afwijkende waterstand.

Deze twee theoretische trajecten met een lengte van 2 km hebben allen hetzelfde dwarsprofiel. Traject 1 heeft als invoer van de Cross Section – type Trapezium zoals toegelicht is in figuur 14. Het andere traject, traject 2, heeft de invoer van het dwarsprofiel type YZ-profiel (zie figuur 15).

FIG 14 Trapezium

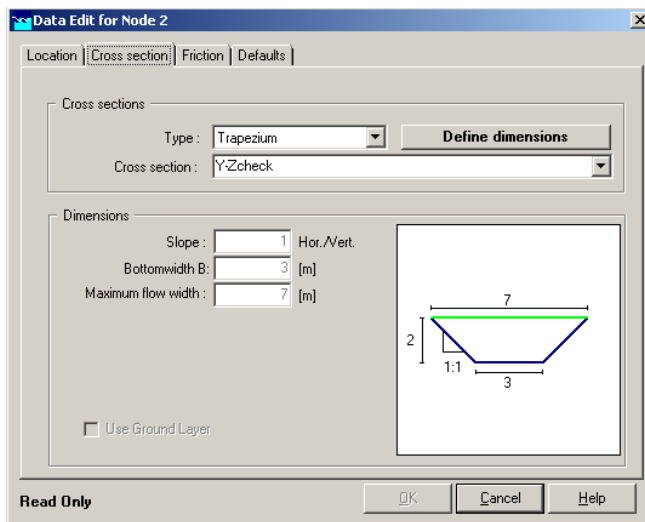
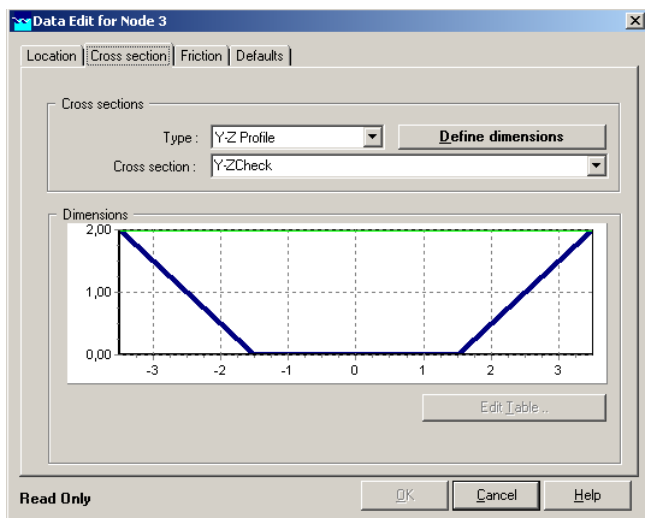


FIG 15 Y-Z-profile



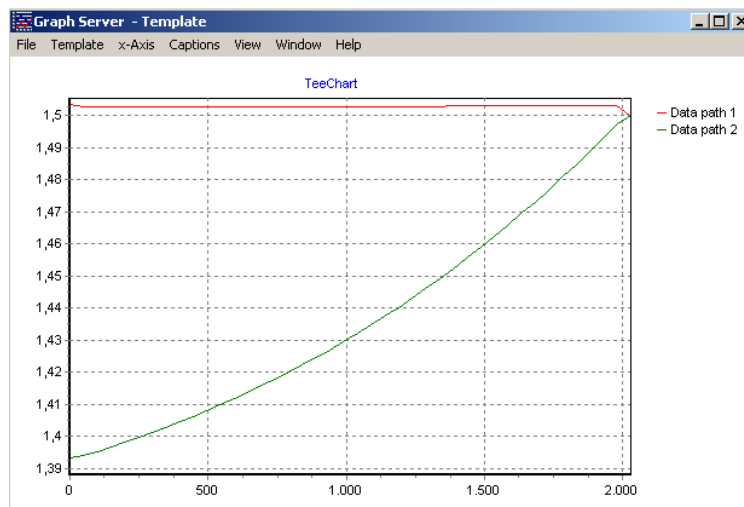
Het debiet is vastgesteld op 2,231 m³/s, berekend bij een waterstand van 1,50 m in het beschreven theoretische bakje met parameters te lezen in tabel 4, op basis van de Manningformule.

TAB 4 Parameters

Ks	20	[m^{1/3} / s]
I	0,3	[m/km]
Q	2,231	[m³ / s]

Vanwege de berekende drooglegging van 0,50 m bij een debiet van 2,231 m³/s is de boundary condition van de endnode bij traject 1 en 2 vastgesteld op een waterstand van 1,50 m. Zoals in figuur 16 is weergegeven is traject 1 in evenwicht rond een waterstand van 1,50 m. De waterstand van traject 2 daalt echter enorm. De y-as geeft de waterstand in meters weer, de x-as geeft het traject in meters weer.

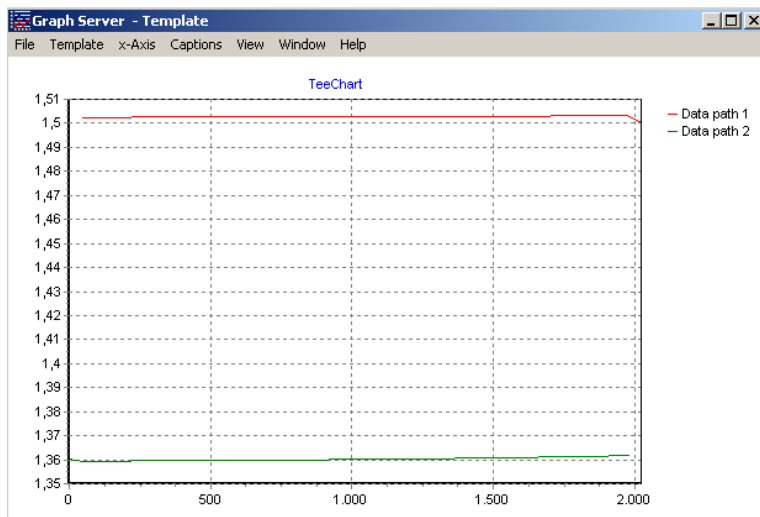
FIG 16 Waterstandverschil bij boundary conditions van 1,50 m



Om het evenwicht van de waterstand bij het YZ-profiel te zoeken zijn de boundary conditions aangepast tot een waterstand van 1,36 m. Wanneer het traject een langere afstand had gehad, zou in path 2 uit figuur 16 asymptotisch naar 1,36 m lopen. Geïllustreerd in figuur 17 is het evenwicht te zien bij een dwarsprofiel op basis van YZ. Het verschil tussen deze twee invoerdwarsprofielen is 14 cm, terwijl de waterstand eigenlijk hetzelfde zou moeten zijn.

FIG 17

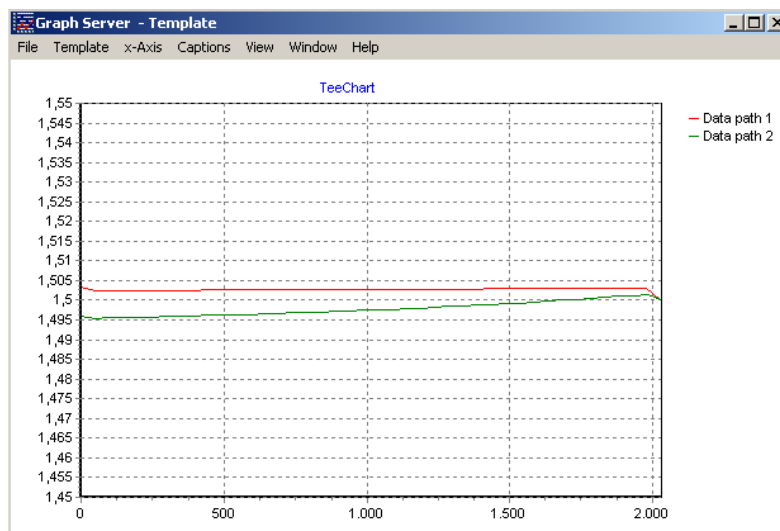
Waterstandverschil in evenwicht



Wanneer het debiet van het traject met het YZ-profiel wordt verhoogd naar 2,65 m³/s is de waterstand zoals verduidelijkt in figuur 18 circa 1,50 m. Dit is een stijging van 20 % in de maatgevende afvoer.

FIG 18

Waterstand bij debietverschil



Mijn beeld na deze kleine steekproef is dat de waterstand in het YZ-dwarsprofiel verkeerd wordt berekend. Door het dwarsprofiel in stukjes te knippen wordt een stromingsweerstand van het talud verwaarloosd. Hierdoor denkt het model een groter debiet door het dwarsprofiel te kunnen laten stromen, met als gevolg een veel te lage waterstand.

III. SOBEK-scripts

De nieuwe SOBEK Suite is nog in ontwikkeling, hierdoor is er nauwelijks tot nog geen documentatie beschikbaar over de functies die men kan implementeren in de scriptomgeving [14]. De scripts in deze bijlage zijn gemaakt in samenwerking met David Rodriguez Aguilera van Deltares. Wanneer er nieuwe handelingen in het script nodig waren voor de onzekerheid- of gevoeligheidsanalyse, werden er nieuwe functionaliteiten in het script toegepast.

FIG 19 SOBEK-script - Gevoeligheidsanalyse

```
1 #Gevoeligheidsanalyse - per simulatie slechts 1 parameter die varieert
2 #(circa 10 simulaties per parameter)
3 #Input      Reeks bodembreedten
4 #          Reeks afvoeren
5 #          Reeks stromingsweerstand - Strickler
6 #Output     3x Lijst waterstanden
7
8 #region Modules importeren
9 from api import *
10 from DelftTools.Hydro import RoughnessType
11 import System
12 #endregion
13
14 #region Gevoeligheidsdomein [test waarden]
15 genormaliseerdeparameters=[0.2,0.4,0.6,0.8,1.0,1.2,1.4,1.6,1.8]
16 bodembreedteReeks = [0.3,0.6,0.9,1.2,1.5,1.8,2.1,2.4,2.7]
17 afvoerReeks = [0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9]
18 weerstandReeks = [4,8,12,16,20,24,28,32,36]
19 #endregion
20
21 #region Input definitie
22 flowModel = CurrentProject.RootFolder["basismodel"].Activities[0]
23
24 cSection = GetCrossSectionByName(flowModel, "gedeelddwarsprofiel")
25
26 # Vind rij in Cross section definitie met minimale Z waarde (= bodem)
27 zMin = 1e10 # veel te hoog, dus er wordt altijd een lagere gevonden
28 idxZMin = -999
29 idx = 0
30 for row in cSection.ZWDataTable:
31     if row.Z < zMin:
32         zMin = row.Z
33         idxZMin = idx
34     idx +=1
35
36 cSectionBodem = cSection.ZWDataTable[idxZMin]
37
38 afvoerObject = GetLateralSource(flowModel, "Afvoer")
39 rsMain = GetRoughnessSection(flowModel,"Main")
40 #endregion
41
```



```

42 #region Output definitie
43 meetPuntNaam = "meetpunt"
44 observationPoints = list(flowModel.Network.ObservationPoints)
45 observationPoint = [x for x in observationPoints if x.Name == meetPuntNaam][0]
46 #endregion
47
48 #region Gevoeligheidstest
49 #region per parameter
50 waterstandbijweerstand = []
51 waterstandbijafvoer = []
52 waterstandbijbodem Breedte = []
53
54 waterstandmetweerstand=[]
55 waterstandmetafvoer=[]
56 waterstandmetbodem Breedte=[]
57
58 allewaterstanden=[]
59
60 # initiële condities vastleggen [zoals in het model oorspronkelijk bewaard]
61 initAfvoerWaarde = afvoerObject.Flow
62 initBodem BreedteWaarde = cSectionBodem.Width
63
64 initWeerstandDefaultWaarde = rsMain.RoughnessNetworkCoverage.DefaultValue
65 initWeerstandDefaultType = rsMain.RoughnessNetworkCoverage.DefaultRoughnessType
66
67 initWeerstandCoverage = []
68 rghnsLocaties = rsMain.RoughnessNetworkCoverage.Locations.Values
69 for i in range(0,rghnsLocaties.Count):
70     value = rsMain.RoughnessNetworkCoverage[rghnsLocaties[i]]
71     initWeerstandCoverage.append(value)
72
73
74 #loop langs parameters, variabele; afvoer, bodembreedte en weerstand
75 for afvoerWaarde in afvoerReeks:
76     afvoerObject.Flow=afvoerWaarde
77
78     Application.RunActivity(flowModel)
79     waterStandenReeks =flowModel.OutputWaterLevel.GetTimeSeries(observationPoint)
80     waterStandenValues = waterStandenReeks.Components[0].AllValues
81     aantalWaarden = waterStandenValues.Count
82     laatsteWaterStand = waterStandenValues[aantalWaarden-1]
83
84     waterstandmetafvoer.append([afvoerWaarde, laatsteWaterStand])
85     waterstandbijafvoer.append([laatsteWaterStand])
86
87 # afvoer terug naar basiswaarde
88 afvoerObject.Flow = initAfvoerWaarde
89
90 for bodembreedteWaarde in bodembreedteReeks:
91     cSectionBodem.Width=bodembreedteWaarde
92
93     Application.RunActivity(flowModel)
94     waterStandenReeks =flowModel.OutputWaterLevel.GetTimeSeries(observationPoint)
95     waterStandenValues = waterStandenReeks.Components[0].AllValues
96     aantalWaarden = waterStandenValues.Count
97     laatsteWaterStand = waterStandenValues[aantalWaarden-1]
98
99     waterstandmetbodem Breedte.append([bodembreedteWaarde, laatsteWaterStand])
100     waterstandbijbodem Breedte.append([laatsteWaterStand])
101
102 # bodembreedte terug naar basiswaarde
103 cSectionBodem.Width = initBodem BreedteWaarde

```

```

104
105 for weerstandWaarde in weerstandReeks:
106     ChangeRoughnessValuesForSection(rsMain, weerstandWaarde, roughType = "Strickler ks")
107     rsMain.RoughnessNetworkCoverage.DefaultValue = weerstandWaarde
108     #rsMain.RoughnessNetworkCoverage.DefaultRoughnessType = initWeerstandDefaultType
109     #type wordt in principe niet gewijzigd
110
111     Application.RunActivity(flowModel)
112     waterStandenReeks =flowModel.OutputWaterLevel.GetTimeSeries(observationPoint)
113     waterStandenValues = waterStandenReeks.Components[0].AllValues
114     aantalWaarden = waterStandenValues.Count
115     laatsteWaterStand = waterStandenValues[aantalWaarden-1]
116
117     waterstandmetweerstand.append([weerstandWaarde, laatsteWaterStand])
118     waterstandbijweerstand.append([laatsteWaterStand])
119
120 # ruwheid terug naar basis waarde
121 for i in range(0,initWeerstandCoverage.Count):
122     rsMain.RoughnessNetworkCoverage[rgHnsLocaties[i]] = initWeerstandCoverage[i]
123 rsMain.RoughnessNetworkCoverage.DefaultValue = initWeerstandDefaultWaarde
124 rsMain.RoughnessNetworkCoverage.DefaultRoughnessType = initWeerstandDefaultType
125 #endregion
126
127
128 #region Resultaten wegschrijven naar txt file
129 #(dit zijn de waterlevels niet de waterdepths! later nog +0.6m (2km * 0,3 m/km))
130 allewaterstanden.append([genormaliseerdeparameters,waterstandbijafvoer,waterstandbijbodem Breedte,waterst
131
132 filename = "E:\\Projects\\WPM\\projecten\\int2int\\LaKe_Profiel\\Sobek\\resultaten\\qo5ks20b1o5.txt"
133 file = open(filename,'w')
134
135 for item in allewaterstanden:
136     file.write("%s\n" % item)
137
138 file.close()
139 #endregion
140

```

FIG 20 SOBEK-script - Monte-Carlo analyse

```

1 #Onzekerheidsanalyse - Monte-Carlo - per simulatie 3 aangepaste parameters
2 #(circa 1000 simulaties)
3 #Input Reeks met combinatie van variërende bodembreedte, afvoer en stromingsweerstand
4 #Output 1 Lijst waterstanden (later te weergeven in histogram)
5
6 #region Modules importeren
7 from api import *
8 import System
9 import random
10 #endregion
11
12 #region Verdelingen
13 #region Bodembreedte verdeling
14 # Normale verdeling o.b.v. MA kaart 2.0 & correctiefactoren
15 bgem = 1.5
16 bstd = 0.1*bgem
17 #endregion
18
19 #region Afvoer verdeling
20 # Normale verdeling o.b.v. revisiemetingen & leggerdwarsprofielen
21 Qgem = 0.5
22 Qstd = 0.3*Qgem
23 #endregion
24
25 #region Weerstand verdeling
26 # Verdeling o.b.v. experts hydrologen waterschap
27 Ks=[10,10,10,10,10,15,15,15,15,15,15,15,15,15,15,15,15,15,15,15,20,20,20,20,20,20,20,20,25,25]
28 #endregion
29

```

```

30 #region Input definitie
31 flowModel = CurrentProject.RootFolder["basismodel"].Activities[0]
32 cSection = GetCrossSectionByName(flowModel, "gedeelddwarsprofiel")
33
34 # Vind rij in Cross section definitie met minimale Z waarde (= bodem)
35 zMin = 1e10 # veel te hoog, dus er wordt altijd een lagere gevonden
36 idxZMin = -999
37 idx = 0
38 for row in cSection.ZWDataTable:
39     if row.Z <zMin:
40         zMin = row.Z
41         idxZMin = idx
42     idx +=1
43
44 cSectionBodem = cSection.ZWDataTable[idxZMin]
45
46 afvoerObject = GetLateralSource(flowModel, "Afvoer")
47 rsMain = GetRoughnessSection(flowModel,"Main")
48 #endregion
49
50 #region Output definitie
51 meetPuntNaam = "meetpunt"
52 observationPoints = list(flowModel.Network.ObservationPoints)
53 observationPoint = [x for x in observationPoints if x.Name == meetPuntNaam][0]
54 #endregion
55
56 # initiële condities vastleggen [zoals in het model oorspronkelijk bewaard]
57 initAfvoerWaarde = afvoerObject.Flow
58 initBodem BreedteWaarde = cSectionBodem.Width
59
60 initWeerstandDefaultWaarde = rsMain.RoughnessNetworkCoverage.DefaultValue
61 initWeerstandDefaultType = rsMain.RoughnessNetworkCoverage.DefaultRoughnessType
62
63 initWeerstandCoverage = []
64 rghnsLocaties = rsMain.RoughnessNetworkCoverage.Locations.Values
65 for i in range(0, rghnsLocaties.Count):
66     value = rsMain.RoughnessNetworkCoverage[rghnsLocaties[i]]
67     initWeerstandCoverage.append(value)
68
69 aantalRepetities = 1000
70 resultaten2=[]
71 waterstandenbijrandominvoer = []
72
73 for i in range(aantalRepetities):
74     weerstandWaarde=random.choice(Ks)
75     afvoerWaarde=random.normalvariate(Qgem,Qstd)
76     bodembreedteWaarde=random.normalvariate(lbgem,bstd)
77
78     afvoerObject.Flow = afvoerWaarde
79     ChangeRoughnessValuesForSection(rsMain, weerstandWaarde, roughType = "Strickler ks")
80     rsMain.RoughnessNetworkCoverage.DefaultValue = weerstandWaarde
81     cSectionBodem.Width = bodembreedteWaarde
82
83     #Run the model
84     Application.RunActivity(flowModel)
85     waterstandenReeks =flowModel.OutputWaterLevel.GetTimeSeries(observationPoint)
86     waterstandenValues = waterstandenReeks.Components[0].AllValues
87     aantalWaarden = waterstandenValues.Count
88     laatsteWaterStand = waterstandenValues[aantalWaarden-1]
89
90     resultaten2.append([bodembreedteWaarde, weerstandWaarde, afvoerWaarde, laatsteWaterStand])
91     waterstandenbijrandominvoer.append([laatsteWaterStand])
92

```

```

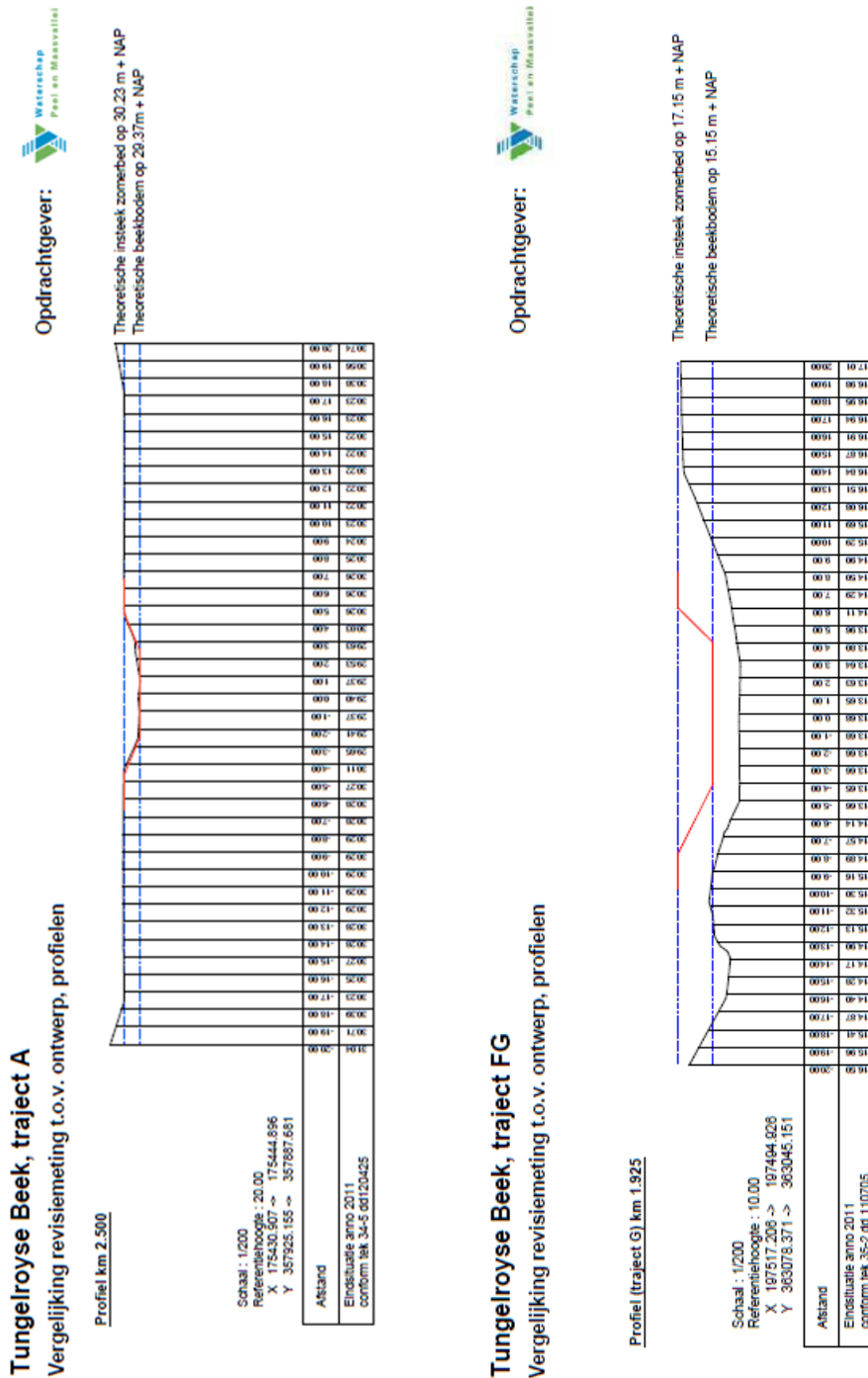
92
93 #region Resultaten wegschrijven naar txt file
94 #print waterstandenbijrandominvoer
95 #print resultaten2
96
97 filename = "E:\\Projects\\WPM\\projecten\\int2int\\LaKe_Profiel\\Sobek\\resultaten\\ho2.txt"
98 file = open(filename, 'w')
99 for item in waterstandenbijrandominvoer:
100     file.write("%s\n" % item)
101 file.close()
102
103 filename = "E:\\Projects\\WPM\\projecten\\int2int\\LaKe_Profiel\\Sobek\\resultaten\\res2.txt"
104 file = open(filename, 'w')
105 for item in resultaten2:
106     file.write("%s\n" % item)
107 file.close()
108 #endregion
109
110 #Alle parameters terug naar basiswaarde
111 afvoerObject.Flow = initAfvoerWaarde
112 cSectionBodem.Width = initBodembreedteWaarde
113 for i in range(0, initWeerstandCoverage.Count):
114     rsMain.RoughnessNetworkCoverage[rghnsLocaties[i]] = initWeerstandCoverage[i]
115 rsMain.RoughnessNetworkCoverage.DefaultValue = initWeerstandDefaultWaarde
116 rsMain.RoughnessNetworkCoverage.DefaultRoughnessType = initWeerstandDefaultType
117

```


IV. Revisiemetingen Tungelroysebeek

Enkele voorbeelden van extreme revisiemetingen om een indruk te krijgen van de verkregen waarden.

FIG 21 Traject A en traject FG



V. SOBEK

Deltares' modelleeromgeving SOBEK biedt voor het Waterschap Peel & Maasvallei de mogelijkheid om: de werking van het huidige watersysteem inzichtelijk te maken, waterpeilen te berekenen, extremen te toetsen, beken te herinrichten en te ontwerpen.

De 1D hydrodynamische simulatie in de SOBEK-omgeving is gebaseerd op de Saint Venant-vergelijking (equation 2) [8]. Het programma lost deze vergelijking numeriek op per opgegeven rekenpunt waarna de waterstanden aan de gebruiker worden gegeven. Met deze vergelijking kunnen de hydrologen inzicht verkrijgen van de effecten van bijvoorbeeld een extreme piekafvoer op een beekstelsysteem.

EQ 2

Saint Venant-vergelijking

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g(I - I_f) = 0$$

Parameter	Symbool	Eenheid
Snelheid in x-richting	u	[m/s]
Tijd	t	[s]
Plaats	x	[m]
Gravitatieconstante	g	[m/s ²]
Waterstand	h	[m]
Verhang	l	[-]

Het verschil tussen de Manning-formule en de Saint Venant-vergelijking is dat de Manning-formule alleen een benadering is voor stationaire en permanente stromingen. Wanneer er sprake is van een dynamische situatie geeft de Saint Venant-vergelijking inzicht in de effecten op de waterpeilen.

De nieuwe SOBEK 3 Suite geeft naast de verbeterde interface van SOBEK 2 ook een scripting-mogelijkheid ten behoeve van onder andere snelle parameteraanpassingen. Men kan het model vaak laten runnen zonder dat men talloze keren de invoerwaarden handmatig moet veranderen. Deze nieuwe versie van SOBEK is nog in ontwikkeling. Men kan op aanvraag al wel gebruik maken van de bèta-versie, echter vereist de SOBEK Suite, vanwege het nog niet beschikbaar zijn van documentatie, enige tijd om zich eigen te maken. Zodra deze nieuwe versie wordt uitgebracht zijn er talloze nieuwe mogelijkheden voor de gebruiker.