

Voorblad

INHOUDSOPGAVE

1	Voorwoord	4
2	Samenvatting	5
3	Inleiding.....	6
4	Project definitie.....	7
4.1	Probleemdefinitie.....	7
4.2	Onderzoeksvragen	7
5	Vooronderzoek/Catchment area(beschrijving gebied).....	8
5.1	De karen stam.....	8
5.2	Landbouwgebruik.....	8
5.3	Huidige situatie en problemen	9
5.3.1	Workshop dorpsbewoners	9
5.3.2	Problemen irrigatie	9
5.3.3	Problemen drinkwater	9
5.3.4	Waterkwaliteit.....	10
5.3.5	Ontbossing	10
6	Meetplan.....	15
6.1	Doel.....	15
6.2	Meetapparatuur	15
6.2.1	Diver(drukmeter).....	15
6.2.2	CTD-Diver(conductivity)	16
6.2.3	Weerstation.....	16
6.3	Meetmethodes	16
6.3.1	Rehbockstuw	17
6.3.2	Zoutinjectie methode / tracer methode	18
6.4	Meetlocaties	19
6.4.1	Meetlocaties kwantitatief onderzoek	19
6.4.2	Drinkwaterbassin (inname punt).....	19
6.4.3	Bovenstroomse stuw.....	20
6.4.4	Benedenstroomse stuw	20
6.4.5	Drinkwaterbassin(afname punt)	20
6.5	Meetopstelling.....	20
6.5.1	Weerstation.....	20
6.5.2	Rehbockstuw	21
6.5.3	Zoutinjectie methode.....	23

7	Data verwerking.....	26
7.1	Zoutinjectiemethode / tracermethode	26
7.2	Rehbockstuw	30
7.2.1	Natuurlijke invloed debiet.....	33
7.2.2	Menselijk invloed debiet	36
7.2.3	Q-h relatie	36
7.3	Kalibratie.....	37
8	Conclusies en aanbevelingen praktijkmetingen.....	38
9	Modellering Mae Phaem rivier	39
9.1	Doel model	39
9.2	GIS / ArcMap.....	39
9.3	Runoff Curve Number	39
9.4	Data input Model.....	41
9.4.1	Bodemdata	42
9.4.2	Landgebruikdata.....	42
9.4.3	Weerdata.....	42
9.4.4	Digital Elevation Map (DEM, digitale hoogte kaart)	42
9.5	Modelopbouw	43
9.6	Overzicht model	51
9.7	Modelresultaten	52
9.7.1	Afvoer Mae Phaem rivier 2012	52
9.7.2	Afvoer Mae Phaem Rivier 2000.....	53
9.8	Conclusies model.....	54
10	Nawoord.....	56
11	Bronvermelding.....	57
11.1	Boeken, dictaten en documenten	57
11.2	Websites	57
11.3	Fotomateriaal	57

1 VOORWOORD

Dit document is opgesteld door Floris Harten als afstudeerscriptie voor de Hogeschool van Amsterdam. Het document is opgezet naar aanleiding van praktijkonderzoeken in Ban Mae Phaem, een dorp in Noord-Thailand.

Het onderzoek is voortgekomen uit vraag van stichting Buffelen. Stichting Buffelen is enkele jaren actief in het gebied. Dit was voorheen vooral gericht op financieel en economisch gebied. Voor uitbreiding van de stichting, om de inwoners van Ban Mae Phaem beter te ondersteunen, is de vraag uitgezet naar onderzoek naar de waterhuishouding en problematiek.

Het enthousiasme is bij mij opgewekt door eerdere verhalen van: Floris Boogaard en Marius Palsma (begeleiders) die het voorgaande jaar ook aanwezig waren in het gebied. De verhalen en foto's die ik te zien kreeg samen met het enthousiasme van de stichting, heeft er voor gezorgd dat ik niet lang nagedacht heb om het onderzoek aan te nemen.

Ik wil de Stichting Buffelen bedanken in het bijzonder het hoofd John Zijderhand voor het mogelijk maken van het onderzoek in een dataschaars gebied, wat een grote uitdaging is gebleken. De stichting heeft ons de faciliteiten geboden om drie maanden lang onderzoek te verrichten in het gebied.

Naast de stichting wil ik de begeleiders, van de technische- en procesmatige kant, Floris Boogaard en Marius Palsma bedanken. Zij zijn in eigen tijd naar Thailand toegekomen om het onderzoek en de studenten in het gebied te ondersteunen.

Vanuit de Hogeschool van Amsterdam wil ik Rutger van Hogezaand bedanken voor de begeleiding vanuit school.

Het rapport is geschreven in Amsterdam en afgerond op 21 augustus 2014.

2 SAMENVATTING

Wereldwijd neemt de vraag naar landbouwproducten toe. Hierdoor is vraag en strijd om waterbronnen vergroot wat tot milieu-, economische- en sociale conflicten leidt. Het onderzoek in dit rapport richt zich op het dorp Ban Mae Phaem in Noord-Thailand waar deze wereldwijde problemen zich voordoen. In dit gebied zijn weinig onderzoeksgegevens aanwezig, de uitdaging ligt bij het verzamelen van data door metingen en door de aanwezige en gegeneerde data een inschatting te maken van de watervoorraad en ontwikkelingen in de toekomst. Door de toenemende landbouw in het gebied ontstaan er problemen voor zowel: drink- als irrigatiewater in kwantiteit en kwaliteit.

Om in een korte periode veel data te ontwikkelen is een meetplan opgezet. Het doel van het onderzoek is onder andere om deze meerjarig door te zetten, het meetplan kan dus geïmplementeerd worden in toekomst om de voortgang van het onderzoek te waarborgen.

Het onderzoek bestaat uit twee delen: de praktijkmetingen en modellering van het stroomgebied. De praktijkmetingen geven inzicht op de debieten en waterstanden die optreden in het droge seizoen, waarin de meetperiode viel. Het model moet inzicht geven in de veranderingen in debiet vanwege ontbossing. Vanaf 2000 tot 2012 is 9,78% van het dichtbegroeide oerwoud verdwenen in het stroomgebied.

De praktijkmetingen zijn uitgevoerd door middel van twee methodes: de Rehbockstuw en zoutinjectiemethode. De Rehbockstuw is robuust en kan voor langere tijd de debieten (lokaal) bepalen door middel van meetapparatuur wat aan de Rehbockstuw is verbonden. De zoutinjectiemethode is niet bruikbaar gebleken, vanwege het niet frequent toepassen van de methode.

De praktijkmetingen hebben een helder en duidelijk beeld gecreëerd over de Mae Phaem rivier. Uit de dataverwerking blijkt dat de Mae Phaem rivier een sterk dag- en nachtritme aanhoudt. Wanneer de waterstanden worden afgezet tegen de temperatuur en luchtvochtigheid wordt de oorzaak van het ritme duidelijk. De hoge verdamping die optreedt (tot 1400 mm per jaar), zorgt overdag voor een waterstandverlaging. Het 'sponseffect' heeft ook invloed op de jungle. Het oerwoud (jungle) *zuigt* het vocht uit de lucht in de nacht op. Wat hierna langzaam door verdamping weer wordt afgegeven aan de Mae Phaem rivier in de nacht.

Het model richt zich op de afstroming van hemelwater en bepaald hieruit het debiet van de Mae Phaem rivier. Voor het model is het Curve Number model gebruikt in combinatie met een GIS extensie: SWAT. Het Curve Number model geeft een waarde aan de data van de bodem en landgebruik. Deze waarde zegt iets over de snelheid van de afstroming die kan optreden. De SWAT extensie bepaald het debiet in de rivier door middel van: het verhang van de rivier, temperatuur, verdamping, berging in de bodem en de neerslag. In het model zijn geen grondwaterstromingen opgenomen. De grondwaterstromingen voeren ook water af naar de Mae Phaem rivier. Vanwege gebrek aan data over het grondwater en de stromingen is dit niet meegenomen.

Uit het model wordt duidelijk dat er (veel) hogere debieten en waterstanden optreden in de natte periode (het regenseizoen). Door de intensieve buien en neerslag die weken aanhoudt treden er debieten op tot (gemiddeld) 1000 l/s. Deze debieten zullen hoger uitvallen, wanneer de grondwaterstromingen ook mee worden gemodelleerd. Aanbevolen wordt ook om de praktijkmetingen door te zetten in de toekomst om het model te kalibreren en aan te passen.

Door het onderzoek kunnen de dorpsbewoners van Mae Phaem worden gewaarschuwd, wanneer er overstromingsgevaar dreigt door extreme neerslag.

Door de toenemende landbouw in het stroomgebied, neemt de vraag naar water ook toe. Door middel van het model kan worden aangegeven hoeveel water er onttrokken kan worden door de verschillende landbouwbeheerders. Hierdoor kunnen eventuele conflicten worden voorkomen of verholpen.

3 INLEIDING

Wereldwijd neemt de vraag naar landbouwproducten toe. Hierdoor is vraag en strijd om waterbronnen vergroot wat tot milieu, economische- en sociale conflicten leidt. Vooral in gebieden waar landbouw een groot onderdeel is van de cultuur en export, leidt dit tot problemen door de sterk groeiende bevolkingsgroei. De groeiende export en bevolkingsaantallen zorgt voor een explosieve groei van het landbouw gebruik wat direct invloed heeft op de waterhuishouding en –kwaliteit binnen de landbouw gebieden. Het groeiende landgebruik zorgt voor: erosie, afname van de waterkwaliteit benedenstrooms, het overmaatse gebruik van grondwater en de afname van de biodiversiteit. (Jakeman & Letcher, 2003)

Het onderzoek in dit rapport richt zich op het dorp Ban Mae Phaem in Noord-Thailand waar het bovenstaande wereldwijde probleem zich voordoet. In het onderzoek wordt gekeken naar de vraag en aanbod qua waterkwantiteit. Het onderzoek richt zich zowel op de praktijkmetingen als modelvorming van de Mae Phaem rivier in het onderzoeksgebied. In dit gebied zijn weinig onderzoeksgegevens aanwezig, de uitdaging ligt bij het verzamelen van data door metingen en door de aanwezige en gegeneerde data een inschatting te maken van de watervoorraad en ontwikkelingen in de toekomst.

Hierin wordt gekeken naar de ontwikkelingen die hebben plaatsgevonden in gebied en de ontwikkelingen die (verwacht) gaan plaats vinden. De ontwikkelingen waar op toe wordt gespitst zijn: bevolkingsgroei, de uitbreiding van de landbouw gebieden en ontbossing. Uit deze ontwikkelingen(/veranderingen) wordt een plan gemaakt voor de toekomstige waterhuishouding.

Dit project is in nauwe samenwerking opgezet met Stichting Buffelen, dit is een organisatie die sinds vijf jaar de Karenstam in Ban Mae Phaem helpt. Stichting buffelen richt zich op het zelf onderhouden van de bevolking en het stimuleren van het onderwijs in het dorp. De naam van de stichting is afkomstig van de waterbuffels die de stichting in het dorp heeft gebracht. Met de waterbuffels worden inkomsten gegenereerd waarmee de bevolking in het dorp wordt ondersteund (www.buffelen.org).

Sinds een jaar heeft de stichting er voor gekozen om de inzet uit te breiden. Hieruit volgend is het project ontstaan om de waterhuishouding en waterzuivering voor het gebied te onderzoeken en te verbeteren. Dit project wordt breed ingezet en wordt als: *Catchment Action Plan*(Actie plan voor het stroomgebied) ingezet.

4 PROJECT DEFINITIE

4.1 PROBLEEMDEFINITIE

De Karenstam leeft samen met de Lizustam in het Huay Nam Dan *national park*. Het onderzoekgebied richt zich op het gebied benedenstrooms van het natuurgebied en ondervindt tegenslag met de aanvoer en zuivering van zowel drink- en irrigatiewater, door de toenemende droogte en landbouwgebruik in het gebied bovenstrooms.

4.2 ONDERZOEKSVRAGEN

De volgende onderzoeksvragen zijn opgesteld gericht op het watertransport en –zuivering voor het: drink- en irrigatiewater voor het dorp: Ban Mae Phaem

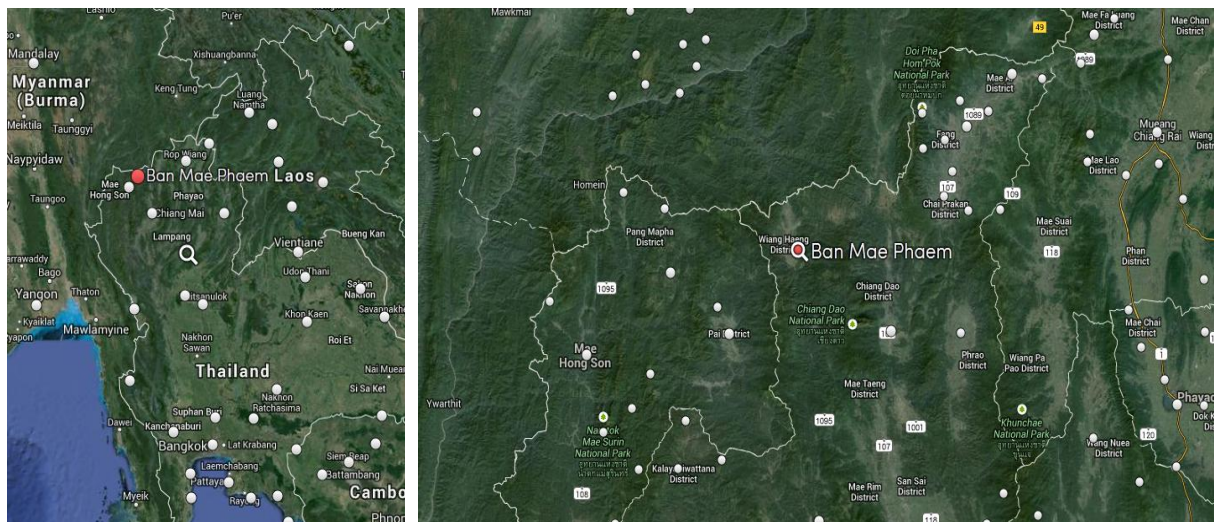
1. Hoe kan een meetplan worden opgezet wat meerjarig meegaat?
In het meetplan wordt opgenomen hoe de eerste data voor het project verzameld wordt. In de toekomst wordt het onderzoek in het gebied gedetailleerd en uitgebreid, hierdoor is het van belang dat het meetplan meerderjarig is en kan worden overgedragen aan de nieuwe onderzoekers.
2. Hoe kan in een korte periode snel data worden verzameld over het stroomgebied en de rivier?
Het debiet van de Mae Phaem rivier wordt door twee verschillende methodes bepaald. De methodes worden met elkaar gekalibreerd om een correcte data set te creëren en het met beperkte middelen op snelle wijze eerste data verzamelen voor eerste inzicht om verder uit te bouwen (aanbevelingen).
3. Kan het debiet worden gemodelleerd om inzicht te krijgen in de toekomst?
Het afstromingdebet van de Mae Phaem rivier wordt gemodelleerd door middel van een GIS-model. Hierbij wordt gekeken naar de huidige situatie, de situatie in het verleden en de toekomstige situatie. Gekeken wordt of ontbossing invloed heeft op het stroomgebied en de rivier.

5 VOORONDERZOEK/CATCHMENT AREA(BESCHRIJVING GEBIED)

In het noorden van Thailand ligt het *Huay Nam Dan National Park*. Het nationale park beslaat een gebied van 1247 vierkante kilometer (<http://www.dnp.go.th/parkreserve/asp/style1/default.asp?npid=150&lg=2>). Het is de verbinding tussen de Thaise stad Chiang Mai en de grens van Myan Mar. In het nationale park ligt het dorp Ban Mae Phaem. Op dit dorp wordt het onderzoek en ontwerp toegepast. In figuur 1 is het overzicht te zien van de ligging van het dorp.

5.1 DE KAREN STAM

Het dorp geeft huis aan de Karenstam. De is afkomstig uit Myan Mar en staan bekend als vriendelijke mensen die leven van landbouw en jagen. (Stichting-Buffelen, 2014)



FIGUUR 1. LIGGING BAE MAE PHAEM

De karenstam leeft erg primitief waarvan het jaarlijks inkomen per persoon wordt geschat op 250,- Euro. Het inkomen wordt vooral gemaakt door: landbouw en het produceren van producten(t-shirts, manden, etc.)met gebruik van gebiedseigen materialen. (Andrew Walker, 2010)

5.2 LANDBOUWGEBRUIK

Het landbouwgebruik van de Karenstam is grotendeels gericht op eigen consumptie. Dit is vooral aan de rijstproductie af te lezen: de boeren planten rijst wanneer de vraag van het volk hiernaar is en niet wanneer de (economische) markt hier naar vraagt voor export. Het landbouwgebruik is ook een sociaalaspect binnen de Karenstam. Het onderhouden van de landbouwgebieden en het rond lopende vee is een vorm van communie binnen de Karenstam. (Walker, 2010) .

De karenstam maakt gebruik van een techniek genoemd als: *rai mun wian*. In het Nederlands vertaald als rotatie van landbouw. Deze techniek houdt in dat ze: kappen, verbranden en telen(*slash and burn*) voor de landbouw.

Door de grote afbraak van het bos en vruchtbare gebieden, kunnen er periodes nodig van tien tot twintig jaar om het bos de tijd te geven zich opnieuw te structureren en de grond opnieuw vruchtbaar te laten worden (Huldman, 2014). Doordat grote gebieden hierdoor verloren gingen heeft de Karenstam een vernieuwde variant in werking gebracht. Deze techniek houdt in dat ze gericht de vruchtbare grond uitkiezen en niet het hele jaar door verbouwen, zodat de grond jaarlijks opnieuw gebruikt kan worden (Andrew Walker, 2010)

5.3 HUIDIGE SITUATIE EN PROBLEMEN

5.3.1 WORKSHOP DORPSBEWONERS

Om inzicht te krijgen in de huidige problematiek en inzicht te geven in wat de onderzoek in het gebied inhouden, is er een workshop gegeven. Bij de workshop zijn alle dorpsbewoners en ambtenaren uitgenodigd. Dit is mede gedaan om een band te scheppen met de dorpsbewoners en te laten zien welke onderzoeken er in het gebied plaatsvinden, maar vooral wat er mogelijk is.

De workshop is een ideaal middel geweest om het onderzoek beter op te zetten. Door de geringe informatie over en van het gebied, is de problematiek lastig te achterhalen. In de interactieve sessies werden verschillende problemen in het dorp aangehaald. Hierdoor is duidelijk geworden welke problematiek er plaats vindt en (deels) waar de oorzaken liggen.

De bewoners van Mae Phaem gaven aan dat ze enthousiast waren over de onderzoeken die gingen plaatsvinden en dat er aandacht werd besteed aan de problematiek. De mensen werden in regenseizoen vaak ziek, wat zich uitte in keel- en blaasontsteking.

Vanuit de cultuur van de Karen zijn zij erg gesteld op de natuur en natuurbehoud. De ontbossingen die plaatsvinden, kunnen ze niet plaatsen. Dit had, volgens de dorpsbewoners, ook grote invloed op de Mae Phaem rivier in zowel kwaliteit en kwantiteit.

5.3.2 PROBLEMEN IRRIGATIE

De huidige etnische stammen in het gebied en het commerciële aspect van landbouw bedrijven gaan niet met elkaar overeen. De gebieden bovenstrooms (vaak gebruikt voor de commerciële landbouw) gebruiken veel water voor de landbouw. In het droge seizoen (januari tot en met april) zorgt dit voor problemen voor irrigatie bij de gebieden benedenstrooms. Ban Mae Phaem is een gebied gelegen benedenstrooms van het natuurpark. Doordat de landbouwgebieden beneden- en bovenstrooms steeds verder ontwikkelen en het stedelijk gebied (door de bevolkingsgroei) ook verder ontwikkeld, wordt het probleem met wateraanvoer steeds groter (Huldmann, 2014)

De klimaatontwikkeling is in dit gebied ook merkbaar. Het droge seizoen wat normaal van januari tot en met april loopt, wordt steeds langer. Het afgelopen jaar was er eind mei pas voor het eerst regen. Het droge seizoen wordt, dus steeds langer wat direct invloed heeft op de wateraanvoer in het gebied.

Het water voor de irrigatie wordt gewonnen uit de *Mae Phaem* rivier die door het natuurgebied heen stroomt. In het droge seizoen verbouwd en/of oogst de Karen stam niets. De oorzaak hiervan is onduidelijk. In het onderzoek worden er interviews gehouden of dit een cultuur of watergerelateerde kwestie is.

5.3.3 PROBLEMEN DRINKWATER

Momenteel wordt het drinkwater voor de inwoners gewonnen uit een waterbron enkele kilometers uit Ban Mae Phaem gewonnen. In het regenseizoen is de wateraanvoer in balans met de vraag naar drinkwater vanuit het dorp. Het hele dorp is door middel van pvc-leidingen aangesloten op de bron.

Het overschot aan water wat naar het dorp toe wordt getransporteerd wordt opgeslagen in de waterbassins gelegen in het dorp. Deze bassins worden in gebruik genomen tijdens een drinkwatertekort in het droge seizoen. Het tekort treedt op wanneer de bron waar water uit wordt gewonnen droogt komt te staan, door de toenemende verdamping en de afnemende neerslag.

Wanneer de bron droogvalt, schakelt de dorp het watertransportsysteem over naar de rivier (als bron). In figuur 2 is de ligging van de drinkwaterbron te zien t.o.v. de bovenstroomse stuw en het dorp.



FIGUUR 2. LIGGING DRINKWATERBRON(NATTE SEIZOEN)

5.3.4 WATERKWALITEIT

Er is een zuivering enkele kilometers verwijderd van het dorp. Deze zuivering is echter al twaalf jaar niet in gebruik en kan zijn functie niet meer uitvoeren. Het water in het dorp wordt wel gezuiverd door middel van een bezinkbak. De bak is in 2002 aangelegd, maar is sindsdien niet meer onderhouden. Hierdoor is er opbouw van vuil en sediment in de bak van ruim twaalf jaar, wat de kwaliteit van het water niet ten goede komt.

In het regenseizoen wordt het rivierwater veel als drinkwater gebruikt. Doordat het landbouwgebruik technisch ook is ontwikkeld zijn er steeds meer onkruidbestrijdingsmiddelen in het rivierwater aanwezig. Landbouwgebieden worden steeds vaker bemest en de planten besproeid met pesticide. Het water wat weer terugstroomt in de rivier wordt benedenstrooms gewonnen voor drinkwater. Uit interviews met verschillende mensen in het dorp is gebleken dat in het regenseizoen er meer mensen ziek zijn, wat zich uit in blaas- en keelontstekingen.

5.3.5 ONTBOSSING

In paragraaf 6.2 werd al gesproken over het (oude) landbouwgebruik van de Karenstam. Deze manier van landbouw bedrijven laat zijn littekens achter in het landschap. De ontbossing is echter niet opgehouden na het stoppen van *rai mun wian*.

In het natuurgebied bevindt zich ook de Lisu stam. De stam is van origine een nomade stam, wat inhoudt dat deze rondtrekt. Dit gaat gepaard met veel natuurvernietiging. De natuurvernietiging vindt plaats om verschillende redenen:

- Leefruimte creëren
- Landbouw
- Winnen materialen; kappen van bomen voor hardhout

De Lisu stam is echter in het natuurgebied gebleven, doordat er veel ruimte is en weinig toezicht door overheden. Hierdoor kunnen ze opium verbouwen en illegaal hardhout kappen en transporteren, zonder dat ze worden gecontroleerd.

De ontbossing vindt vooral plaats op de gebieden rondom de rivier de Mae Phaem die in het natuurgebied stroomt. De ontbossing heeft in dit gebied ook hierdoor grote invloed op het debiet van de Mae Phaem.

De bomen nemen grondwater op en *transpireren*(evaporatie) het weer uit. Doordat de bomen zijn gekapt is een deel van de watercyclus weggehaald wat een nadelig effect heeft op de waterhuishouding en de vruchtbaarheid van de bodem. Bij neerslag houden de bomen het water ook deels tegen, door de ontbossing stroomt het hemelwater direct naar de Mae Phaem rivier toe. In het regen seizoen stijgt de waterstand sneller bij neerslag, waardoor het debiet vergroot wordt. Op den duur zal het afstromende regenwater, hoge waterstanden en het verhoogde debiet lijden tot erosie van de gebieden waar ontbossing heeft plaatsgevonden.

Om inzicht te krijgen in de omvang van de ontbossing in het natuurgebied is er een inventarisatie gemaakt. Hierbij werd duidelijk dat grote stukken al ontbost zijn en dat ze nog steeds bezig zijn. In figuur 3 is een overzicht te zien van de locaties waar foto's zijn gemaakt om de ontbossing in beeld te brengen. Figuur 3(Google Maps) is genomen in 2006, waardoor stukken ontbossing nog niet visueel zichtbaar zijn in het figuur.



FIGUUR 3. OVERZICHT FOTOLOCATIES ONTBOSSING (GOOGLE MAPS, 2006)



FIGUUR 4. ONTBOSSING(1) (FLORIS HARTEN, 2014)



FIGUUR 5. ONTBOSSING(2) (FLORIS HARTEN, 2014)



FIGUUR 6. ONTBOSSING(3) (FLORIS HARTEN, 2014)



FIGUUR 7. ONTBOSSING(4) (ERIC KRAAK, 2014)



FIGUUR 8. ONTBOSSING(5) (ERIC KRAAK, 2014)



FIGUUR 9. ONTBOSSING(6) (ERIC KRAAK, 2014)

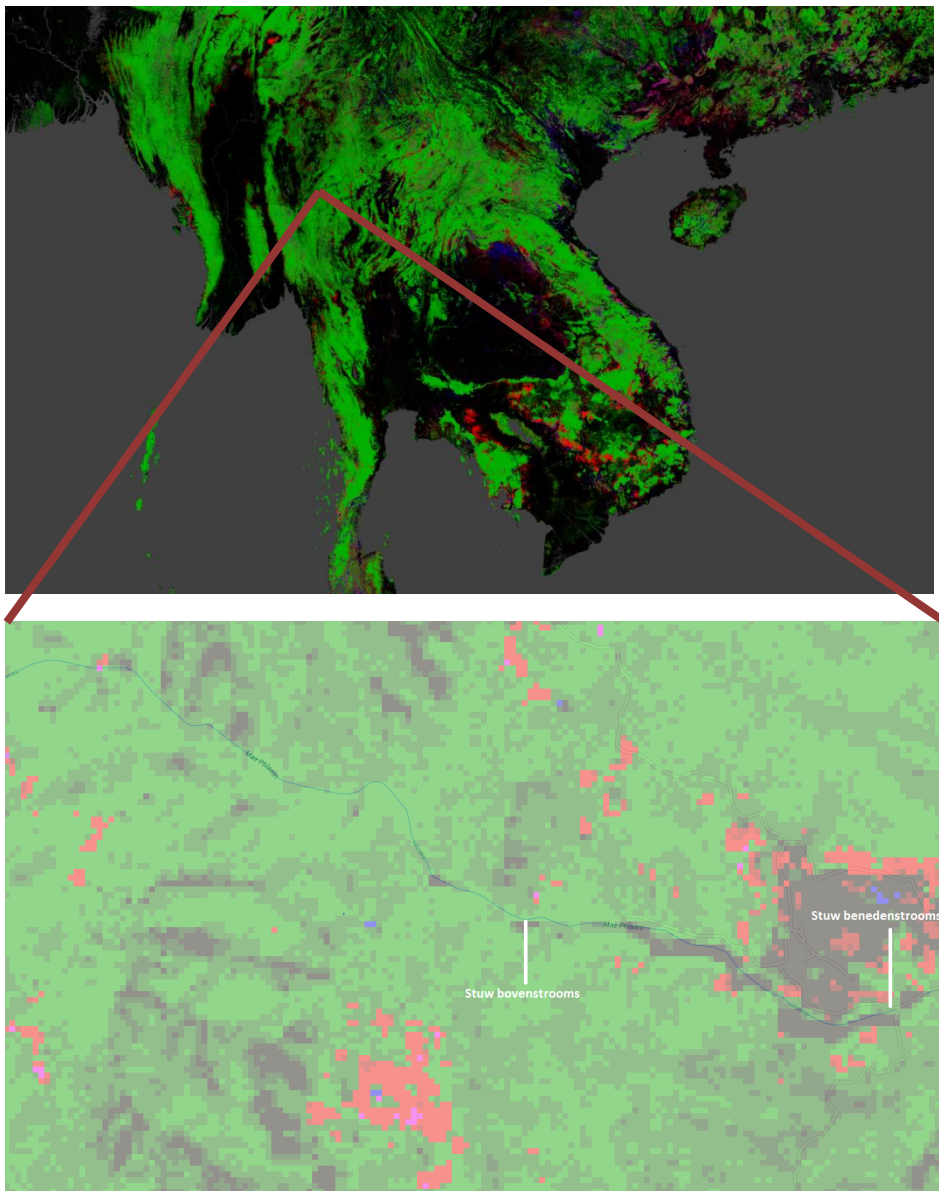


FIGUUR 10. ONTBOSSING(7) (FLORIS HARTEN, 2014)



FIGUUR 11. ONTBOSSING(8)

Te zien is dat grote delen van de bomen gekapt of weggebrand zijn ten behoeve van de landbouw. Tussen 2000 en 2012 is de ontbossing gegroeid (Hansen & Potov, 2013)



FIGUUR 12. OVERZICHT ONTBOSSING 2000 TOT 2012 (ROOD: ONTBOSSING, GROEN: BEHOUDEN, BLAUW: GEGROEID, ROZE: ONTBOSSING&GEGROEID). BOVEN THAILAND BENEDEN HUAY NAM DAN NATIONAL PARK (HANSEN & POTOV, 2013)

In figuur 12 is te zien dat grote delen al ontbost zijn tussen 2000 en 2012. In het onderzoekgebied (tussen de benedenstroomse- en bovenstroomse stuw) heeft er veel ontbossing rondom de Mae Phaem plaats gevonden, wat een negatieve invloed heeft op de watercyclus en ecologie in de omgeving. Uit een GIS-analyse is gebleken dat van 2000 tot 2012: 9,78% van het oerwoud is ontbost in het stroomgebied van de Mae Phaem.

In de inventarisatie is te zien dat de ontbossing sterk wordt uitgebreid, doordat er grote gebieden zijn plat gebrand (figuur 10). In het verloop van het onderzoek wordt verder ingegaan op het effect van de ontbossing ten opzichte van de waterhuishouding in het gebied gericht op de Mae Phaem rivier.

6 MEETPLAN

In het natuurgebied *Huay Nam Dang National Park* is weinig tot geen onderzoek verricht naar het watersysteem, zowel kwantitatief als kwalitatief. Om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden is er data uit het gebied nodig. Om deze data te verzamelen is een meetplan opgezet. Het doel is om in de toekomst verder onderzoek te doen in het *Huay Nam Dang National Park*. Het huidige onderzoek richt zich specifiek op het dorp Ban Mae Phaem en het stroomgebied eromheen en het met beperkte middelen op snelle wijze eerste data verzamelen voor eerste inzicht om verder uit te bouwen (aanbevelingen).

In het meetplan wordt ingegaan op het verzamelen van data rondom de waterkwaliteit en -kwantiteit binnen het stroomgebied. Beschreven wordt hoe de data verzameld wordt, daarin wordt op de volgende aspecten ingegaan:

- Doel
- Meetapparatuur
- Meetmethode(s)
- Meetlocatie(s)
- Meetopstelling/uitvoering
- Verwerking data

6.1 DOEL

Het doel van de praktijk onderzoek is op korte termijn de volgende vragen vast te beantwoorden:

- Welke waterstanden treden er op?
- Wat is het debiet van Mae Phaem rivier in de onderzoeksperiode(dag en nacht ritme)?
- Hoe reageert het debiet in de Mae Phaem rivier op neerslag?

Door deze vragen te beantwoorden wordt de komende jaren een dataset opgebouwd om meer inzicht te krijgen in de Mae Phaem rivier bij dag en nacht, maar ook in het droge- en regenseizoen. Daarbij wordt ook gekeken of de neerslag invloed heeft op het debiet. Door de ontbossing stroomt het hemelwater sneller en in grotere hoeveelheden naar de rivier toe, gekeken wordt of in de loop van der jaren het debiet van de rivier sterker reageert op de neerslag.

6.2 MEETAPPARATUUR

De data wordt verzameld in het kader van het onderzoek. Bij de keuze en plaatsing/locatie van de meetapparatuur is rekening gehouden met de toekomstige voortgang van het onderzoek in het natuurgebied. In dit hoofdstuk worden de verschillende meetapparaten beschreven samen met de desbetreffende functie.

6.2.1 DIVER(DRUKMETER)

Waterstanden van zowel oppervlakte- als grondwater is een belangrijke factor in het onderzoek. Om de waterstanden te bepalen wordt gebruik gemaakt van Divers. Divers meten de hydrostatische- of atmosferische druk en de temperatuur. De verzamelde data wordt opgeslagen in het interne geheugen (48.000 metingen). Het meetinterval van de Divers is te bepalen door de onderzoeker. De druk wordt gemeten in (cmH₂O, of millibar). Om de waterstand te bepalen wordt de atmosferische druk afgetrokken van de hydrostatische druk. Hieruit volgt de

waterstand in centimeters.



FIGUUR 13. (MICRO) DIVER. MEET HYDROSTATISCHE- EN ATMOSFERISCHE DRUK

De Divers hebben een meetbereik tot 10 meter(h₂O). De nauwkeurigheid is 0,2 centimeter(H₂O) (Schlumberger, 2014)

6.2.2 CTD-DIVER(CONDUCTIVITY)

Voor de bepaling van het debiet worden twee methodes gebruikt. Een van deze methodes is de: zoutmeting. Op deze methode wordt later ingegaan. De *conductivity*(geleidbaarheid) Diver meet de geleidbaarheid van een vloeistof, in het onderzoek water. De geleidbaarheid wordt gemeten in: mS/cm(milliseconde per centimeter). De data wordt opgeslagen in het interne geheugen (24.000 metingen). Het meetinterval is door de onderzoeker in te stellen. De nauwkeurigheid van de CTD-Diver is: 0,001 mS/cm. (Schlumberger, 2014)

6.2.3 WEERSTATION

Doordat in het stroomgebied geen lokale weergegevens beschikbaar zijn, is het belangrijk om een dataset op te bouwen die in de toekomst gebruikt kan worden. Het weerstation dat wordt gebruikt is de VantagePro 2. De VantagePro meet elke vijf minuten de volgende componenten:

- Temperatuur(graden Celsius)
- Vochtigheid (%)
- Barometrische druk (hectoPascal)
- Zonnestraling/UV-straling
- Aantal zon uren
- Neerslag (mm)

Deze componenten worden opgeslagen op de harde schijf van het weerstation. Het weerstation moet eens per maand worden uitgelezen, om het geheugen vrij te maken. (VantagePro 2, 2013)

6.3 MEETMETHODES

Om de waterkwantiteit te monitoren en te verifiëren zijn twee verschillende meetmethodes gebruikt: de Rehbockstuw en de zoutmeting. De Rehbockstuw wordt gebruikt om het debiet voor een langere tijd te monitoren. De rivier wordt op meerdere punten voor een langere tijd(enkele jaren) bemeten. Hierdoor is de Rehbockstuw ideaal, omdat hij robuust toegepast kan worden.

Om de gemeten debieten te verifiëren, wordt de zoutmeting toegepast. Hierin wordt gekeken of het debiet, wat volgt uit de Rehbockstuw methode, klopt en niet sterk afwijkt.

6.3.1 REHBOCKSTUW

Voor debietmetingen in openwaterlopen zijn verschillende mogelijkheden. Met het oog op een meerjarige meting, moet de meetmethode en meetapparatuur robuust zijn. Vanuit deze voorwaarde kwam de meetmethode met de Rehbockstuw naar voren.

De Rehbockstuw is een scherpe overlaat, wat bestaat uit een plaat. De Rehbockstuw is alleen toepasbaar wanneer al het water van de waterloop de stuw passeert.

De Rehbockstuw wordt op twee locaties toegepast. Bij beide locaties stroomt al het water van de waterloop over de Rehbockstuw heen, waardoor dit een ideale meetmethode is voor het projectgebied. De Rehbockstuw wordt alleen toepasbaar geacht in, relatief, schoonwater. Wanneer er grove vervuilingen voor de Rehbockstuw achterblijven, kan dit de resultaten sterk beïnvloeden door opstuwing van het water. In de Mae Phaem rivier drijven takken en bladeren. Deze drijven op het water en worden door de hoge stroomsnelheid rondom de Rehbockstuwen meegevoerd.

Het debiet wordt bij de Rehbockstuw bepaald door middel van de overstorthoogte. De waterhoogte moet daardoor constant gemeten worden bij de Rehbockstuw. De overstorthoogte kan bepaald worden uit de waterhoogte en de hoogte van de Rehbockstuw: waterstand – hoogte Rehbockstuw = overstorthoogte. De waterstand bij de Rehbockstuw wordt gemeten door middel van een Diver, die is bevestigd aan de Rehbockstuw. Deze logt elke drie minuten de waterstand bij de Rehbockstuw. Dit interval is gekozen, omdat er rekening gehouden moet worden met het meetgeheugen van de Diver. Wanneer er een lager interval ingesteld wordt, moet de Diver sneller worden uitgelezen. Deze mogelijkheid is er niet. Hierdoor is er een optimum gekozen in het meetinterval en de uitleestijd (66 dagen).

Om het debiet te bepalen bij de Rehbockstuw wordt een $Q(\text{debiet})$ - $h(\text{waterhoogte})$ relatie gemaakt door middel van de volgende formule:

$$Q = C_e \times \frac{2}{3} \times (2g)^{1/2} \times b \times h_e^{3/2}$$

De afvoercoëfficiënt, C_e , hangt af van de verhouding van de breedte van de overlaat ten opzichte van de breedte van de waterloop (bovenstrooms van de stuw). Om de formule voor C_e te bepalen wordt tabel 1 gebruikt.

b_c/B_1	C_e
1,0	$0,602 + 0,075 h_1/p_1$
0,9	$0,599 + 0,064 h_1/p_1$
0,8	$0,597 + 0,045 h_1/p_1$
0,7	$0,595 + 0,030 h_1/p_1$
0,6	$0,593 + 0,018 h_1/p_1$
0,5	$0,592 + 0,011 h_1/p_1$
0,4	$0,591 + 0,0058 h_1/p_1$
0,3	$0,590 + 0,0020 h_1/p_1$
0,2	$0,589 - 0,0018 h_1/p_1$
0,1	$0,588 - 0,0021 h_1/p_1$
0	$0,587 - 0,0023 h_1/p_1$

TABEL 1. BEPALING FORMULE AFVOERCOËFFICIËNT DOOR VERHOUDING b_c (BREEDTE OVERLAAT) EN B_1 (BREEDTE WATERLOOP)

h_e wordt bepaald door middel van de volgende formule:

$$h_e = h_1 + 0,0012$$

Q	: Debiet	[m ³ /s]
C _e	: Afvoercoëfficiënt	[-]
g	: Gravitatieversnelling	[9,78 m/s ²]
b	: Breedte Rehbockstuw	[m]
h_e	: Effectieve overstorthoogte	[m]
h_o	: Overstorthoogte	[m]
p _a	: Apexhoogte	[m]

De gravitatieversnelling is over de hele wereld verschillend door dat de aarde een ellipsoïde is. In Thailand verschilt de gravitatieversnelling hierdoor van de gravitatieversnelling in Nederland. In Thailand ligt de gravitatieversnelling rond de: 9,78 m/s².

De effectieve overstorthoogte is empirisch bepaald. Doordat er bij de overstortrand een kleine stroomversnelling optreedt, wordt de waterstand ter plekken van de overstort rand iets lager. Om de correcte waterstand van waterloop vast te stellen is er empirisch een correctie vastgesteld om de daadwerkelijke waterstand vast te stellen.

De apexhoogte is de hoogte van de overstortrand tot de bodem van de waterloop. De Rehbockstuw is op de bodem geplaatst van de waterloop. Hierdoor is de apexhoogte de hoogte van de Rehbockstuw gelijk aan de hoogte van de overlaat(0,24 meter). (STOWA, 2009) (W. Boiten, A. Dommerholt & M. Soet, 1995)

6.3.2 ZOUTINJECTIE METHODE / TRACER METHODE

De zoutmeting wordt gebruikt ter kalibratie van het gemeten debiet bij de Rehbockstuw. De zoutmeting is een meetmethode waarbij een vaste massa zout(gram) wordt opgelost in een bak water. De zoutoplossing wordt in de waterloop gegoten. Het zout heeft een hogere geleidbaarheid dan het zoete water, waardoor er een piek ontstaat in geleidbaarheidsmetingen (mS/cm). De geleidbaarheid kan gemeten worden door middel van een CTD-Diver.

De zoutinjectie methode wordt drie keer per meting uitgevoerd. Zo om de meetfouten zoveel mogelijk uit te sluiten om tot een correct resultaat te komen. Wanneer de zoutmeting correct wordt uitgevoerd heeft deze een afwijking van 1 procent ten opzichte van het gemeten debiet.

De afstand van het instroompunt tot aan het meetpunt moet bij elke meting hetzelfde zijn. De afstand moet ook lang genoeg zijn, dat de oplossing zich kan verspreiden over de waterloop, om piekmetingen te voorkomen. Om de zoutinjectie methode toe te passen, gelden de volgende randvoorwaarden:

- Het zout (tracermateriaal) moet volledig opgelost zijn
wanneer de proef herhaalt wordt moet het aantal gram zout altijd hetzelfde blijven. Hierdoor is het van belang dat al het zout is opgelost, zodat de metingen identiek zijn. Het zout mag niet meer zichtbaar zijn in de oplossing.
- Het water moet turbulent stromen
de zoutoplossing moet zich verspreiden over de gehele waterloop. Wanneer de stroming laminair is, verspreidt de zoutoplossing niet. Hierdoor wordt er of een te hoge piekwaarde gemeten of niets. Om inzicht te krijgen of de stroming laminair of turbulent is, wordt het Reynoldsgetal bepaald. Het Reynoldsgetal wordt bepaald aan de hand van de Rehbockstuw, omdat de zoutmeting niet met de eigen methode kan worden geverifieerd.
- De tracer mag de dichtheid en viscositeit van het water niet beïnvloeden
De zoutoplossing mag niet de stroming of dichtheid van het water beïnvloeden om het debiet in de huidige situatie meten. Dit zal in de Mae Phaem rivier niet voorkomen, aangezien het een te groot wateroppervlak is.

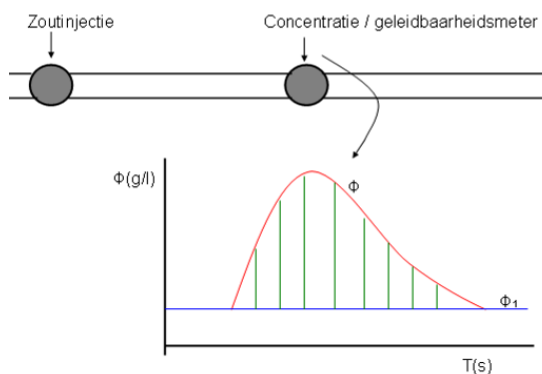
- De tracer mag niet binden aan onopgelost sediment
De volledige oplossing moet zich verspreiden over het oppervlak. De oplossing moet deels achterblijven in onopgelost sediment in de rivier. Hiervoor is het beste om de zoutoplossing in het diepste punt van de waterloop te lozen, zodat de oplossing niet bijvoorbeeld op zandophoping terecht komt.
- De gemeten tracerconcentratie moet veel hoger zijn dan de achtergrondconcentratie
Om het debiet te bepalen wordt in de formule gebruik gemaakt van het oppervlak van de grafiek onder de piekwaarde. Om een piekwaarde te genereren moet de zoutoplossing een hogere geleidbaarheid hebben dan de achtergrond(huidige situatie). De geleidbaarheid wordt bepaald met de CTD-Diver.

Bij de zoutinjectie methode in het project is gebruik gemaakt van keukenzout(NaCl). Om het debiet te bepalen wordt de tracer(keukenzout) op T=0 in de waterloop gegoten. Het debiet wat volgt uit de concentratie en het tijdsverloop wordt berekend door middel van de volgende formule:

$$M = Q \times \int_0^{\infty} \{\Phi(t) - \Phi_1\} dt$$

Waarin:

M	: Massa toegevoegde tracer(keukenzout)	[g]
Q	: Debiet	[l/s]
$\Phi(t)$	: Concentratie tracer	[g/l]
Φ_1	: Achtergrondconcentratie tracer in waterloop	[g/l]



FIGUUR 14. COMPONENTEN ZOUTINJECTIE METHODE

(STOWA, 2009) en (Harry de Brauw, 2014)

6.4 MEETLOCATIES

Om goede datagegevens te verkrijgen is de locatie van essentieel belang. De locatie moet makkelijk te bereiken zijn en moet representatief zijn voor het stroomgebied en dorp. De meetlocaties zijn bepaald aan de hand van de toe te passen meetmethodes en de ligging/invloed op het stroomgebied en dorp. Voor het kwantitatieve en kwalitatieve onderzoek zijn verschillende meetlocaties nodig om een reëel beeld te creëren over het stroomgebied.

6.4.1 MEETLOCATIES KWANTITATIEF ONDERZOEK

Het kwantitatieve onderzoek spits zich op de rivier die het water voor drink- en irrigatiedoeleinden aanlevert. Op verschillende locaties binnen het stroomgebied wordt water afgetapt voor drink- en irrigatiedoeleinden. Hierdoor worden meerdere locaties gemonitord op de waterstand. Door op verschillende locaties te monitoren wordt een duidelijk beeld geschept over de (eventuele) afname van het water.

6.4.2 DRINKWATERBASSIN (INNAME PUNT)

Het drinkwater voor het dorp wordt verzameld in een bassin, vanuit het bassin wordt het in de leidingen naar het dorp getransporteerd. Het transport gaat via vrij verval. Negen maanden per jaar wordt het bassin gevoed door de rivier, dit is in het droge seizoen. Drie maanden per jaar wordt het bassin gevoed door een natuurlijke bron, dit kan alleen in het natte seizoen. Het drinkwaterbassin wordt gemonitord om te kijken of de wateraanvoer constant is. Het drinkwaterbassin is het hoogst gelegen monitoringspunt (bovenstrooms).

6.4.3 BOVENSTROOMSE STUW

In het droge seizoen is de waterstand in de rivier laag. In het natte seizoen stijgt de waterstand in de rivier met soms wel enkele meters. Om te zorgen dat niet al het water direct wegstroomt richting het dorp is er twintig jaar geleden een stuw aangebracht. Deze stuw is twee meter hoog en heeft in het midden een opening waar het water in het droge seizoen doorheen kan stromen. Door de opening in de stuw is het een goede locatie om een Rehbock stuw aan te brengen. Doordat het water alleen door de opening kan stromen is dit een goed referentie punt voor de Rehbockstuw om het debiet te bepalen.

In het natte seizoen kan het voorkomen dat de waterstand van de rivier boven de stuw uitkomt. Wanneer het water boven de stuw uitkomt, geldt de hele stuw als Rehbockstuw.

Het drinkwater wordt bovenstrooms afgetapt ten opzichte van de bovenstroomse stuw.

6.4.4 BENEDENSTROOMSE STUW

Naast het dorp onderbreekt de rivier een weg. De weg wordt veel gebruikt om door het natuurpark heen te gaan. Om er voor te zorgen dat de weg begaanbaar blijft is er een stuw geplaatst, zodat de waterstand niet te hoog wordt waardoor de rivier niet meer te passeren is. De stuw is een stuk lager (0,50 meter) dan de bovenstroomse stuw. In de benedenstroomse stuw is ook een opening in het midden waar het water doorheen stroomt. Dit vormt ook een goed referentiepunt voor debietmetingen.

6.4.5 DRINKWATERBASSIN (AFNAME PUNT)

In het dorp staat grote bassin. Dit is een verzamelbak voor het drinkwater wat naar de huishoudens wordt toe getransporteerd. Het bassin ligt hoger dan de huishoudens, het water wordt daardoor via vrij verval naar de huishoudens toe getransporteerd. Het bassin is tevens ook ontworpen als bezink bak. Het zwevend sediment bezinkt en blijft op de bodem liggen. Echter is de transportbuis naar de huishoudens toen onderaan de bak gepositioneerd, waardoor het bezonken sediment/vuil alsnog mee wordt gevoerd via de transportleidingen.

Het drinkwaterbassin wordt op verschillende momenten gemonitord. Tijdens de monitoring worden er twee verschillende componenten bepaald: het instromend debiet en het uitstromend debiet (drinkwatergebruik). Het drinkwatergebruik is op drie momenten bepaald op één dag: ochtend, middag en avond.

6.5 MEETOPSTELLING

Om de meetmethodes in het plangebied toe te passen moet er worden geïmproviseerd met de materialen die aanwezig zijn in het gebied. Het was geen optie om materialen van buiten het projectgebied te halen, mede door de grote afstanden. Hierdoor kon er alleen gebruik gemaakt worden van lokale materialen, afgezien van de meetapparatuur.

6.5.1 WEERSTATION

Voor de plaatsing van het weerstation, zijn vaste voorwaarden gegeven zodat het weerstation correct de metingen uit kan voeren. Dit zijn voorwaarden voor het plaatsen van de sensoren ten opzichte van omliggende objecten. De voorwaarden zijn:

- De sensoren van het weerstation moeten 1,5 meter boven het grondoppervlak geplaatst worden om correcte temperatuurmetingen te kunnen verrichten
- In een straal van 2 meter mag er geen object rondom de sensoren staan

- Plaats de sensoren op een hoog geplaatste en open plek om regen, temperatuur en luchtvochtigheid correct te kunnen meten

Het weerstation is hierdoor op een heuvel geplaatst aan een boom. De boom is aan de bovenkant afgezaagd en de bomen/struiken in een straal van 2 meter zijn verwijderd. Hierdoor is een hoge- en openplek gecreëerd. In figuur 15 is de locatie en plaatsing van het weerstation te zien.



FIGUUR 15. PLAATSing WEERSTATION (FLORIS BOOGAARD, 2014)

6.5.2 REHBOCKSTUW

De Rehbockstuw is geplaatst in stuw dam. De dammen waren al aanwezig en zijn geplaatst om het rivierwater op te stuwen, zodat het rivierwater (vooral in de natte periode) niet in een keer doorstroomt.



FIGUUR 16. IMPRESSIE BOVENSTROOMSE STUW (FLORIS BOOGAARD, 2014)

In de dam zijn gleuven te zien in de zijwand, die in het verleden gebruikt werd om het waterniveau te regelen door middel van een klep. Deze klep is niet meer aanwezig, waardoor de gleuf goed gebruikt kan worden om de Rehbockstuw in de klemmen. In figuur 16(rechter afbeelding) is te zien hoe de Rehbockstuw geklemd is tussen de twee wallen. Bij de benedenstroomse stuw is de zelfde situatie, echter is de dam kleiner, door de lagere waterstand en stroomsnelheid.



FIGUUR 17. IMPRESSIE BENEDENSTROOMSE STUW (FLORIS BOOGAARD, 2014)

De Rehbockstuw moet ook aan enkele voorwaarden voldoen qua afmetingen en plaatsing. Deze voorwaarden zijn empirisch bepaald en dienen te worden toegepast, om correct gebruik te maken van de omrekenformule voor het debiet. De volgende voorwaarden gelden voor de Rehbockstuw:

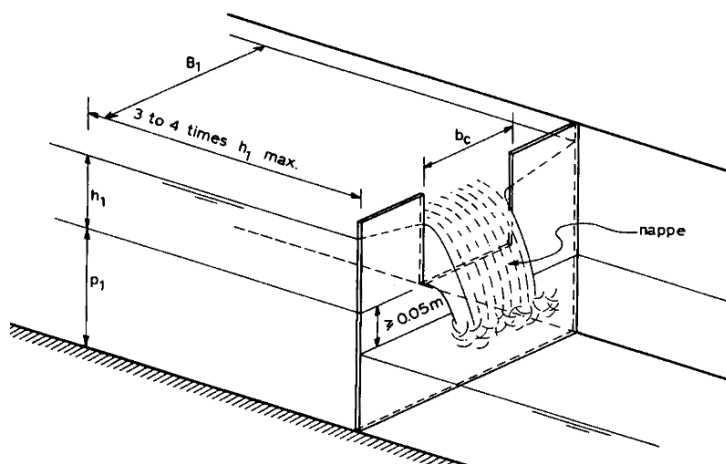
$$B_1 - b_c \geq 4 * h_1$$

- $h_1/p_1 \leq 0,5$
- $h_1/b_c \leq 0,5$
- $0,07 \text{ m} \leq h_1 < 0,60 \text{ m}$
- $b_c \geq 0,30 \text{ m}$

Met:

- B_1 : breedte toevoerkanal [m]
 b_c : breedte overlaat [m]
 h_1 : overstorthoogte [m]
 p_1 : hoogte kruin overlaat tot bodem bovenstroomse waterloop [m]

De voorwaarden die worden gesteld aan de Rehbockstuw voldoen in de praktijkmetingen in het onderzoekgebied. Hierdoor is de data bruikbaar voor onderzoek en aanbevelingen.



FIGUUR 18. OVERZICHT COMPONENTEN REHBOCKSTUW (W. BOITEN, A. DOMMERHOLT & M.SOET, 1995)

In tabel 2 zijn de voorwaarden afgezet tegen de beneden- en bovenstroomse Rehbockstuw, waarin wordt aangetoond dat aan alle voorwaarden wordt voldaan om de data te kunnen verzamelen en toe te passen.

Rehbockstuw	B_1 [m]	b_c [m]	h_1 [m]	p_1 [m]	$B_1 - b_c$ [m]	h_1/p_1	h_1/b_c
Benedenstrooms	3	0,59	0,09 – 0,15	0,24	2,41	0,38 – 0,63	0,15 – 0,25
Bovenstrooms	2	1,035	0,07 – 0,15	0,24	0,965	0,29 – 0,63	0,07 – 0,15

TABEL 2. COMPONENTEN VOORWAARDEN REHBOCKSTUW

6.5.3 ZOUTINJECTIE METHODE

Bij de zoutinjectiemethode moet de afstand van het zoutinjectiepunt tot aan de CTD-Diver lang genoeg zijn, zodat het zout volledig op kan lossen in het water. Zo is elke meting identiek en worden grote meetfouten voorkomen. Bij elke zoutmeting werd hetzelfde injectpunt als meetpunt aangehouden.

6.5.3.1 BOVENSTROOMS

Bij de bovenstroomse stuw is de CTD-Diver twee meter voor de Rehbockstuw geplaatst. Dit is gedaan omdat voor de Rehbockstuw de watergang breder werd. Om de concentratie zo goed mogelijk te meten is voor de verbreding de CTD-Diver geplaatst als te zien in figuur 17.



FIGUUR 19. LOCATIE CTD-DIVER (FLORIS BOOGAARD, 2014)

Het zoutinjectiepunt is ongeveer 35-40 meter verwijderd van de CTD-Diver. Door de turbulente rivier heeft de oplossing genoeg tijd en afstand om te mengen. In figuur 18 is aangegeven wat het zoutinjectiepunt ten opzichte van de CTD-Diver zat. Te zien in figuur 7 is dat de stroming zich voor het zoutinjectiepunt opsplijt in twee stromen. In de linkerstroom wordt de zoutoplossing in de stroom gegoten. De rechterstroom is door de bewoners aangelegd, zonder bekende reden. De stromen komen bij elkaar zo'n tien meter voor de CTD-Diver. Echter is aan het eind van de rechterstroom een obstructie geplaatst. Hierdoor is gekozen voor de linkerstroom als zoutinjectiepunt, zodat er niet een deel van de zoutoplossing achterblijft bij de obstructie.



FIGUUR 20. ZOUTINJECTIEPUNT (FLORIS BOOGAARD, 2014)

6.5.3.2 BENEDENSTROOMS

De CTD-Diver is bij de benedenstroomseput ook twee meter voor de Rehbockstuw geplaatst. Dit is vooral gedaan, omdat veel mensen langs de Rehbockstuw liepen, dit kan de metingen verstoren. In figuur 19 is de locatie van de CTD-Diver bij de benedenstroomse stuw aangegeven.



FIGUUR 21. LOCATIE CTD-DIVER BENEDENSTROOMSE STUW (FLORIS BOOGAARD, 2014)

Het zoutinjectiepunt is bij de benedenstroomsestuw verder verwijderd van de CTD-Diver, de afstand bedraagt ongeveer 45-50 meter, doordat de stroming minder turbulent was. Hierdoor gaat de oplossing minder snel op in de stroming. In figuur 9 is een overzicht te zien waar het zoutinjectiepunt ligt ten opzichte van de CTD-Diver.



FIGUUR 22. ZOUTINJECTIEPUNT BENEDENSTROOMS (FLORIS BOOGAARD, 2014)

7 DATA VERWERKING

De Rehbockstuwmetingen zijn opgezet om een meerjarige data set te creëren. De Rehbockstuwmetingen worden gekalibreerd aan de hand van de zoutinjectiemethode. De zoutinjectiemethode is nauwkeuriger doordat de kans op meetfouten een stuk kleiner is en uit onderzoek is gebleken dat de methode overeenkomt met het daadwerkelijke debiet, wanneer aan alle voorwaarden wordt voldaan.

De Rehbockstuw maakt gebruik van twee Divers: waterdruk, luchtdruk(barometer) en temperatuur, die zijn bevestigd aan de Rehbockstuw. Doordat er drie componenten(twee Divers en de Rehbockstuw) van invloed zijn, zijn er ook drie componenten die voor een meetfout kunnen zorgen. Daarbij kan een vierde componenten worden gerekend: de waterstroom. Golven en drijvend sediment kunnen eventueel meetfout veroorzaken.

De zoutinjectiemethode heeft een component wat voor een meetfout kan zorgen:, mits wordt voldaan aan de voorwaarden(beschreven in paragraaf 7.3.2.), de CTD-Diver. Doordat de kans op meetfouten hierbij een stuk lager ligt wordt de Rehbockstuw gekalibreerd aan de hand van de zoutinjectiemethode.

Alle data wordt verwerkt in Excel. De data wordt verwerkt met drie decimalen. Hierdoor wordt het debiet tot op liter per seconde nauwkeurig berekend($1000 \text{ liter} = 1 \text{ m}^3$).

De temperatuur wordt gebruikt om het Reynoldsgetal vast te stellen (bepaling kinematische viscositeit).

7.1 ZOUTINJECTIEMETHODE / TRACERMETHODE

De zoutinjectiemethode heeft in de praktijk aan alle voorgeschreven voorwaarden gedaan. Hierdoor zijn de waarden betrouwbaar en bruikbaar.

Het debiet is berekend volgens de methode uitgelegd in paragraaf 7.3.2. Om eenheid in de metingen te creëren is er bij elke zoutmeting gebruik gemaakt van 500 gram keukenzout(NaCl) wat is opgelost in 25 liter water. Zo blijft de concentratie bij elke meting exact hetzelfde.

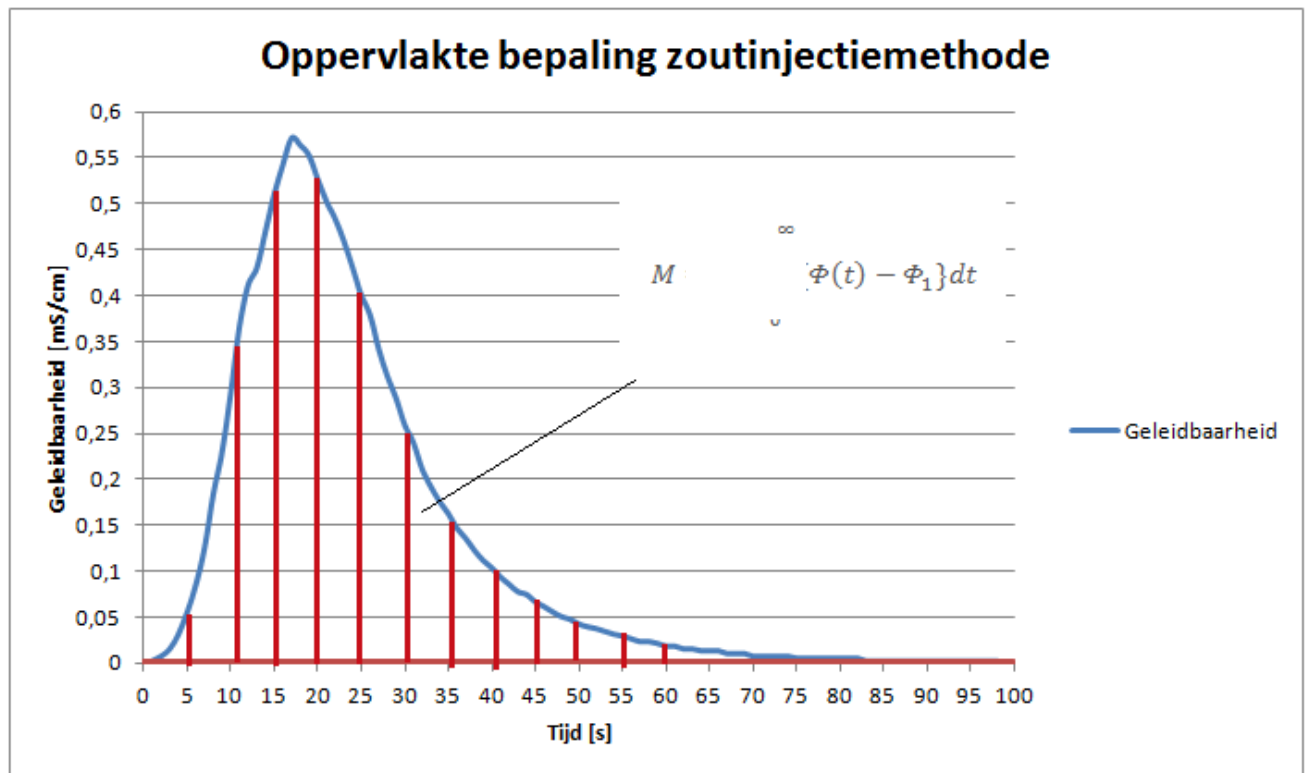
Voordat de oplossing in de waterstroom wordt gegoten, wordt de CTD-Diver eerst vijf minuten in de waterstroom gehangen. Hierdoor kan de gemiddelde achtergrondwaarde(mS/cm) worden bepaald. De gemeten waarde van de gemeten oplossing wordt gecompenseerd met de achtergrondwaarde om het daadwerkelijke debiet te bepalen. In tabel 3 is een voorbeeld gegeven van de compensatie bij een deel van de meting.

Gemiddelde achtergrondwaarde: 0,141 mS/cm

Datum/Tijd[d-m-jjjj uu:mm]	Geleidbaarheid[mS/cm]	Gecompenseerde geleidbaarheid[mS/cm]
4-2-2014 16:38	0,144	0,003
4-2-2014 16:38	0,149	0,008
4-2-2014 16:39	0,157	0,016
4-2-2014 16:39	0,173	0,032
4-2-2014 16:39	0,197	0,056
4-2-2014 16:39	0,227	0,086
4-2-2014 16:39	0,267	0,126

TABEL 3. VOORBEELD COMPENSATIE GELEIDBAARHEID

Het uiteindelijke debiet wordt bepaald door de massa(zout) te delen door de oppervlak onder de grafiek. Het oppervlak (integratie van de kromme) onder de grafiek wordt bepaald in Excel. Het oppervlak wordt genomen vanaf het moment dat de gemiddelde achtergrondwaarde (sterk) wordt overschreden, zoals te zien in tabel 2(begin van de meting). Het einde van de meting is wanneer de gemiddelde achtergrondwaarde wordt bereikt of deze zeer sterk wordt benaderd. In figuur 23 is te zien hoe het oppervlak bepaald wordt.



FIGUUR 23. BEPALING OPPERVLAKE ONDER DE GRAFIEK BIJ DE ZOUTINJECTIEMETHODE

In totaal zijn er tien zoutmetingen gedaan: vijf bovenstrooms en vijf benedenstrooms. In tabel 4 zijn de resultaten te zien van de zoutmetingen bovenstrooms en in tabel 5 de resultaten van de zoutmetingen benedenstrooms. Bij elke meting is ook het Reynoldsgetal bepaald, voor de bepaling van laminaire of turbulente stroming. De stroming moet turbulent zijn om de metingen te kunnen gebruiken voor onderzoek en analyse. Het Reynoldsgetal wordt bepaald met de volgende formule:

$$Re_w = \frac{v * R}{\nu}$$

Waarin:

- v : snelheid [m/s]
- R : hydraulische straal [m]
- ν : kinematische viscositeit [m²/s]

Voor de snelheid en temperatuur worden de gegevens van de Divers bij de desbetreffende Rehbockstuw gebruikt, omdat de zoutmeting niet geverifieerd kan worden aan de hand van de eigen resultaten. De snelheid [m/s] wordt bepaald aan de hand van het debiet [m³/s] en het natte oppervlak [m²].

De Hydraulische straal wordt bepaald aan de hand van de waterhoogte, gemeten door de Rehbockstuw. De breedte voor de waterbodem is niet opgemeten, hierdoor wordt aangenomen dat de breedte van het wateroppervlak hetzelfde is als de breedte van de waterbodem. De hydraulische straal wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$R = \frac{A}{O}$$

Waarin:

- A : Natte oppervlak [m^2]
- O : Natte omtrek [m]

De kinematische viscositeit hangt af van de temperatuur van het water. Per graden celsius verschilt de kinematische viscositeit van (zoet) water. Hiervoor zijn vooraf opgestelde tabellen die worden gebruikt. (Marcel Engelsman, 2013)

- de stroming is turbulent wanneer: $Re > 800$
- de stroming is laminair wanneer: $Re < 400$
- Wanneer $400 < Re < 800$ is de stroming afhankelijk van de voorgeschiedenis

Datum [dd-mm-jjjj]	Tijd meting [s]	Oppervlakte [cm]	Debiet[l/s]	Gemiddelde afwijking[%]	Temperatuur [°C]	Snelheid Rehbocks tuw [m/s]	Hydraulische straal [m]	Re_w
04-02-2014	83	12,647	40	1,25	-	-	-	-
04-02-2014	99	12,181	41	1,25	-	-	-	-
20-2-2014	74	12,176	41	3,17	17	0,125	0,201	21850
20-2-2014	56	12,612	40	5,75	17	0,137	0,200	21830
20-2-2014	71	19,970	46	8,04	17	0,137	0,200	21830
Gemiddelde 4-02-2014)	91	12,414	40,5	1,25	-	-	-	-
Gemiddelde 0-2-2014)	67	14,769	42,3	5,65	-	-	-	-

TABEL 4. OVERZICHT OPPERVLAKTE, DEBIET EN GEMIDDELDE AFWIJING BOVENSTROOMSE STUW

Datum [dd-mm-jjjj]	Tijd meting [s]	Oppervlakte [cm]	Debiet[l/s]	Gemiddelde afwijking[%]	Temperatuur [°C]	Snelheid Rehbockstuw [m/s]	Hydraulische straal [m]	Re _w
22-02-2014	105	16,776	30	16,90	19	0,163	0,203	33089
22-02-2014	100	14,651	34	2,13	19	0,162	0,217	33000
22-02-2014	74	13,358	37	6,88	19	0,162	0,217	33000
22-02-2014	66	13,140	38	8,40	19	0,162	0,217	33000
22-02-2014	60	14,343	35	0,02	19	0,162	0,217	33000
Gemiddelde	81	14,454	35	6,88	-	-	-	-

TABEL 5. OVERZICHT OPPERVLAKTE, DEBIET EN GEMIDDELDE AFWIJING BENEDENSTROOMSE STUW

In tabel 4 en 5 is duidelijk te zien dat er turbulente stromingen optreden. Op 4 februari is het Reynoldsgetal niet te bepalen. Op dit datum waren de Rehbockstuw en de Rehbockstuw nog niet operationeel. De waarden worden wel meegenomen in het ontwerp, omdat de waarden van de andere metingen ruim (!) boven de 800 (Re) liggen.

De gemiddelde afwijking is afgeleid van het gemiddelde debiet: $((\text{gemiddelde debiet} - \text{gemeten debiet}) / \text{gemeten debiet}) \times 100$. Door de gemiddelde afwijking te bepalen wordt gekeken hoe betrouwbaar de meting is. Hieruit blijkt dat de eerste meting bij de benedenstroomse stuw (22-02-2014) een afwijking geeft van 16,90%. Deze wijkt sterk af in vergelijking met de andere vier waarden. Hierdoor wordt deze meting niet meegenomen in de resultaten. De afwijking kan ontstaan doordat de oplossing niet goed is verspreid over de waterstroom, waardoor de gemeten waarden uiteindelijk hoger uit kunnen vallen.

Bij de bovenstroomse stuw zijn de gemiddelde waarden opgesplitst in twee data. Dit komt omdat op 04-02-2014 de metingen in de middag zijn verricht en op 20-02-2014 in de avond. Doordat de rivier een dag/nacht ritme vertoont (hierop wordt later in het onderzoek ingegaan) worden deze twee gescheiden. De overige waarden geven een beperkte gemiddelde afwijking waardoor deze wel worden meegenomen in de resultaten.

7.2 REHBOCKSTUW

In paragraaf 6.5.2 staat beschreven hoe het debiet wordt bepaald aan de hand van de bijbehorende formule. Als eerder aangegeven wordt voor het bepalen van de waterstand gebruik gemaakt van twee divers: waterdruk en luchtdruk. De barometer(luchtdruk) was geplaatst bij de benedenstroomse stuw. De bovenstroomse stuw ligt 100 meter hoger. Hierdoor wordt de luchtdruk voor de bovenstroomse stuw aangepast. 1 millibar(mBar) is gelijk aan 10 (hoogte) meters, dit geeft dat een verschil van 100 meter een negatieve compensatie van 10 mBar geeft.

De berekening van waterhoogte tot aan het debiet wordt uitgelegd aan de hand van de volgende gemeten waarden bij de bovenstroomse stuw, aangegeven in tabel 6:

Datum/Tijd [dd-mm-jjjj uu:mm]	Waterdruk[cmH ₂ O]	Luchtdruk[cm]	Hoogte stuw[m]	Breedte stuw[m]	Gravitatieversnelling[m/s ²]
15-02-2014 16:50	978,4	947,3(gecompenseerd)	0,24	1,0 35	9,78

TABEL 6. WAARDEN VOORBEELD BEREKENING REHBOCKFORMULE

1. Eerst wordt de waterhoogte van de waterstroom bepaald hiervoor wordt de waterdruk gecompenseerd met de luchtdruk:

$$= 978,4 \text{ [cmH}_2\text{O]} - 947,3 \text{ [cm]} = 31 \text{ cm} = \underline{0,311 \text{ meter}}$$

2. Uit de waterhoogte wordt de overstorthoogte bepaald, wat aangeeft hoe hoog het water boven de kruin uitkomt. Hierin wordt de hoogte van de stuw(p_1) van de waterhoogte afgetrokken:

$$= 0,311 \text{ [m]} - 0,24 \text{ [m]} = \underline{0,071 \text{ meter}}$$

3. Uit de overstorthoogte kan de afvoercoëfficiënt(c_e) worden bepaald. De afvoercoëfficiënt is empirisch bepaald en wordt gebruikt bij debietberekeningen bij kunstwerken. Het compenseert (deels) de bewegingen die het water maakt: golven. De afvoercoëfficiënt hangt af van de verhouding tussen de breedte van de stuw en de breedte van de waterloop(7.5.2).

$$= 0,592 + 0,011 \cdot (h_1/p_1) = 0,592 + 0,011 \cdot (0,071 \text{ [m]}/0,24 \text{ [m]}) = \underline{0,595 \text{ [-]}}$$

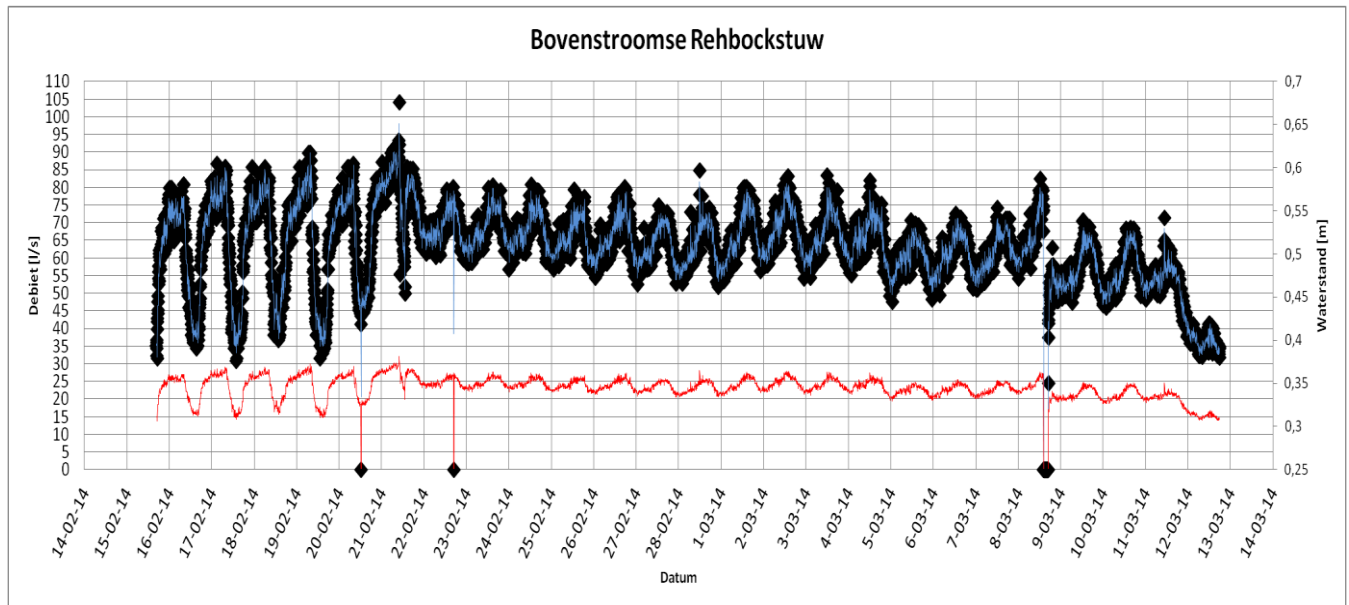
4. De effectieve overstorthoogte(h_e) wordt berekend met de overstorthoogte. De effectieve overstorthoogte is ook empirisch bepaald en compenseert de overstorthoogte door meetfouten die kunnen optreden door de Rehbockstuw zelf.

$$= h_1 + 0,0012 = 0,071[\text{m}] + 0,0012 = \underline{0,072 [\text{m}]}$$

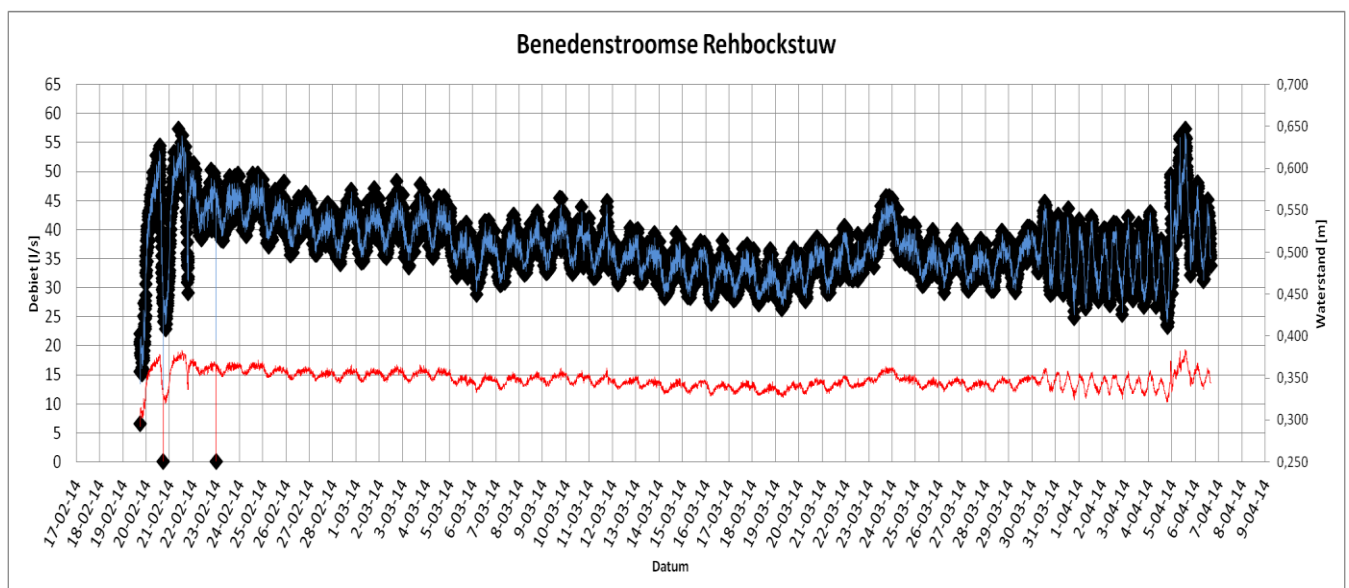
5. Nu alle componenten voor de Rehbockformule bekend zijn wordt het debiet(Q) bepaald:

$$= Q = C_e \times \frac{2}{3} \times (2g)^{1/2} \times b \times h_e^{3/2} = 0,595[-] \times \frac{2}{3} \times (2 \times 9,78[\text{m/s}^2])^{1/2} \times 1,035[\text{m}] \times 0,072^{3/2}[\text{m}] = 0,035 \text{ m}^3/\text{s} = \underline{35 \text{ l/s}}$$

De Divers nemen elke vijf minuten de druk op. Dit betekent dat de druk per vijf minuten berekend kan worden. Door het lage meetinterval wordt inzicht gegeven op het dag/nacht ritme van de Mae Phaem rivier. In figuur 24 is het overzicht te van het debiet van de bovenstroomse stuw en in figuur 25 van de benedenstroomse stuw.

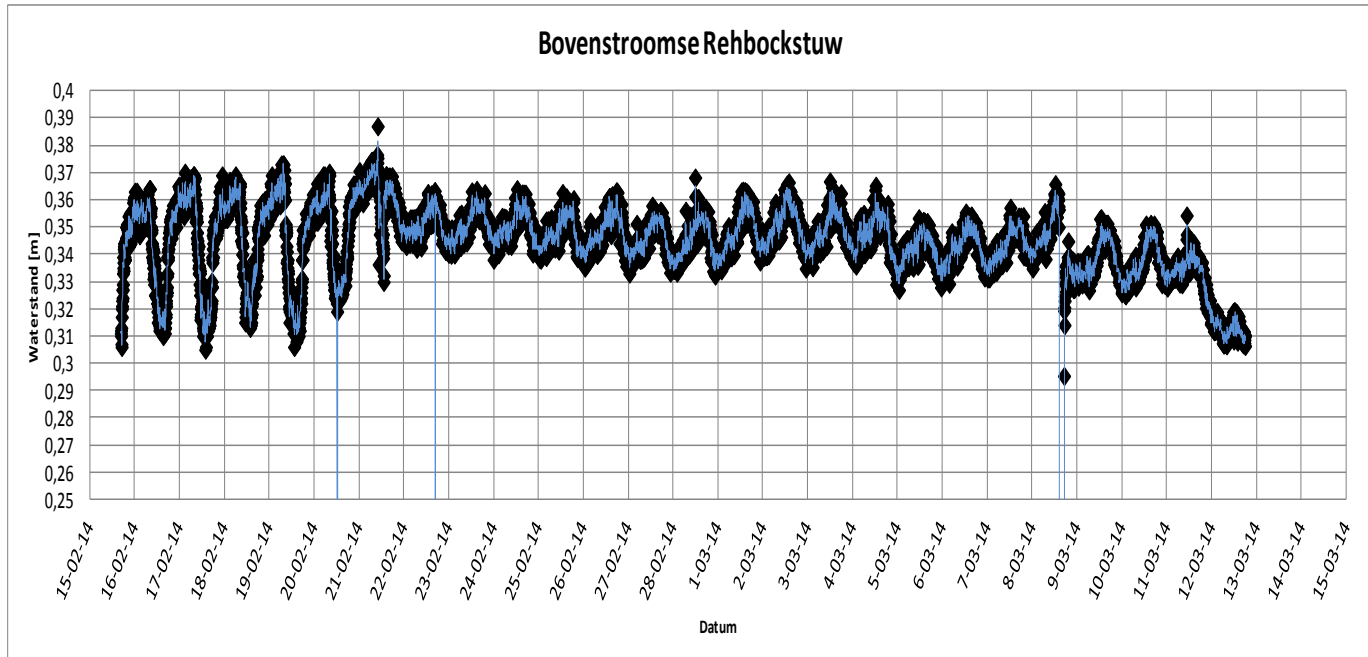


FIGUUR 24. DEBIET BOVENSTROOMSESTUW. ZWART(PUNT): DEBIET PER 5 MINUTEN; BLAUW(LIJN): TRENDLIJN DEBIET; ROOD(LIJN): WATERSTAND

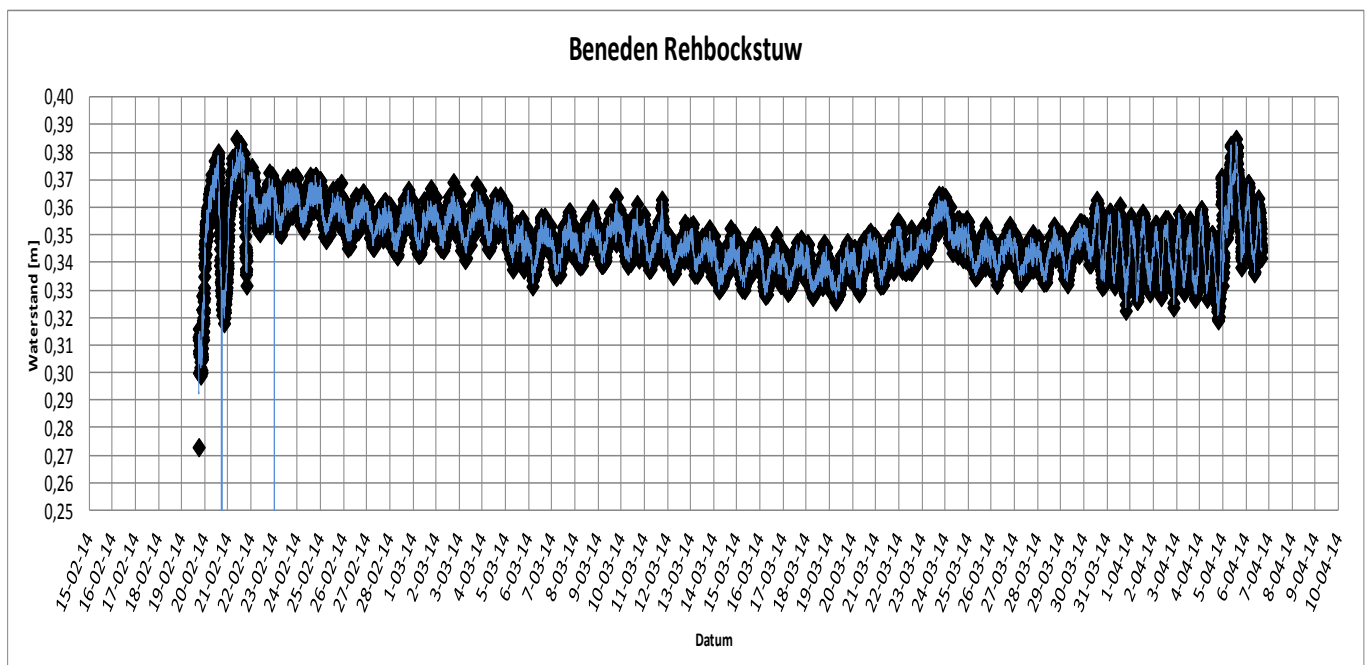


FIGUUR 25. DEBIET BENEDENSTROOMSESTUW. ZWART(PUNT): DEBIET PER 5 MINUTEN; BLAUW(LIJN): TRENDLIJN DEBIET; ROOD(LIJN): WATERSTAND

Bij de bovenstroomse- en benedenstroomse stuw is duidelijk het dag en nacht ritme te zien. Het dag en nacht ritme wordt veroorzaakt door zowel natuurlijke- als menselijke invloeden. Overdag ligt de waterstand 0,03 tot 0,08 meter lager dan in de nacht. In figuur 26 en 27 zijn de waterstanden te zien bij de bovenstroomse- en benedenstroomse Rehbockstuw. Te zien is dat op beide locaties de waterstanden hetzelfde dag en nacht ritme aanhouden in verschil van waterstand. Deze trend zet zich door in de loop van de meetperiode.



FIGUUR 26. WATERSTAND BIJ DE BOVENSTROOMSE STUW



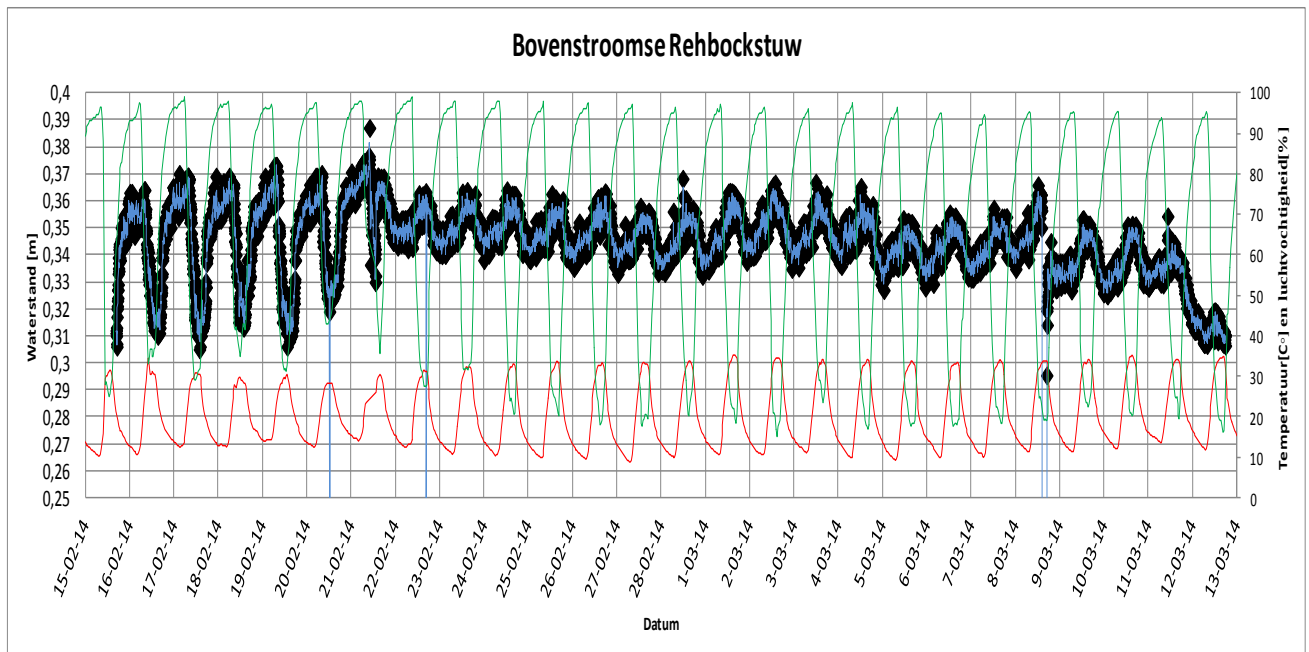
FIGUUR 27. WATERSTAND BIJ DE BENEDENSTROOMSE STUW

7.2.1 NATUURLIJKE INVLOED DEBIET

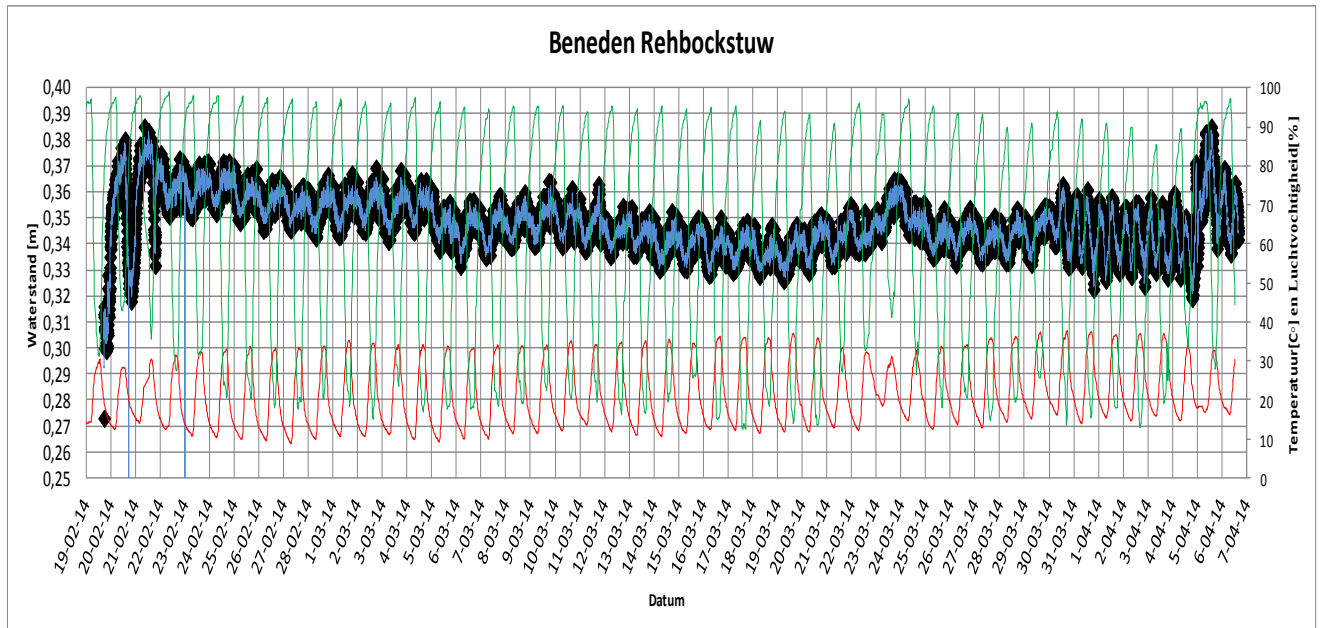
Verschillende natuurlijke fenomenen hebben invloed op het debiet van de Mae Phaem rivier wat het dag en nacht ritme deels verklaard.

7.2.1.1 VERDAMPING (EVAPORATION)

Door de hoge temperaturen overdag (rond de 30 graden Celcius) treedt er overdag veel verdamping op. In de avond zakt de temperatuur snel (rond de 10 graden Celsius). De verdamping bedraagt gemiddeld per jaar: 1300 tot 2000 millimeter per *jaar*. Dit zal op dagelijkse basis verschillen van 1 tot 10 millimeter schelen in waterstand, afhankelijk van de temperatuur, windsnelheid en luchtvochtigheid (Sangchan Limjirakan and Atsamon Limsakul, 2011). Dit geeft aan dat verdamping de grootste invloed heeft op het dag en nacht ritme van de Mae Phaem rivier.

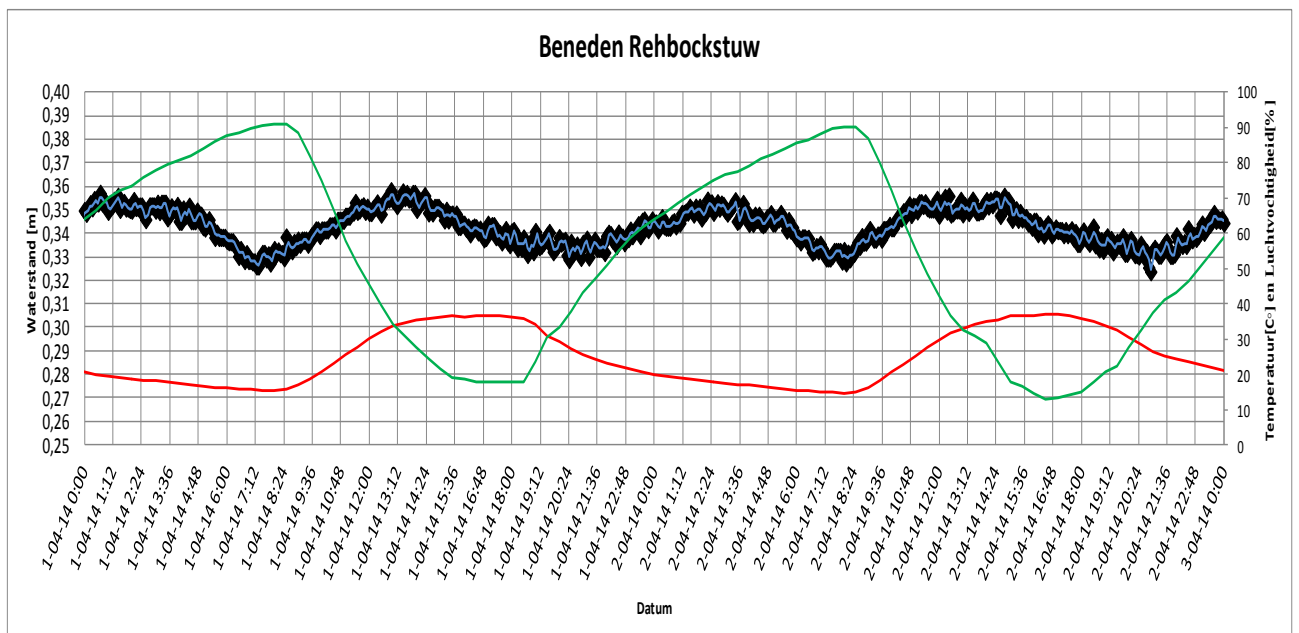


FIGUUR 28. WATERSTAND BOVENSTROOMSE STUW T.O.V. DE TEMPERatuur EN LLUCHTVOCHTIGHEID. BLAUW: WATERSTAND, GROEN: LUCHTVOCHTIGHEID, ROOD: TEMPERatuur



FIGUUR 29. WATERSTAND T.O.V. DE TEMPERatuur EN LUCHTVOCHTIGHEID. BLAUW: WATERSTAND, GROEN: LUCHTVOCHTIGHEID, ROOD: TEMPERatuur

In figuur 29 en 30 is de waterstand afgezet tegen de temperatuur en luchtvochtigheid. De temperatuur staat gelijk aan het dag- en nachtritme. Wanneer de temperatuur stijgt overdag daalt de waterstand geleidelijk, door de toenemende verdamping die optreedt. Ter verduidelijking van het effect zijn in figuur 30 is op twee dagen ingezoomd van de dataset uit figuur 29. De verdamping is overdag dus hoger dan de wateraanvoer: grondwaterstromingen en afstromend water. Wanneer de temperatuur afneemt stijgt de waterstand, doordat de wateraanvoer groter is dan de verdamping. Doordat de waterstand en het debiet rechtevenredig aan elkaar zijn, fluctueert het debiet mee met de waterstand.



FIGUUR 30. VERLOOP WATERSTAND T.O.V.. DE TEMPERatuur EN LUCHTVOCHTIGHEID(TWEE DAGEN). BLAUW:WATERSTAND, GROEN:LUCHTVOCHTIGHEID, ROOD: TEMPERatuur

7.2.1.2 SPONS EFFECT

De luchtvochtigheid in de nacht en ochtend ligt rond de 90%. Door de temperatuur die daalt, zakt de lucht naar beneden door dat de luchtdruk afneemt. De vocht in de lucht wordt opgenomen in de grond en in de verschillende bomen in het regenwoud. Uit onderzoek is gebleken dat de droge grond en de droge bomen in het droge seizoen de vocht uit de lucht 'zuigen'. Dit fenomeen wordt het: spons effect genoemd.

Het water wat in de grond is opgenomen vloeit naar de eerste watervoerende laag in de bodem. Een deel van het water verdampt overdag wanneer de temperatuur stijgt. Door de grondwaterstromingen, stroomt het water naar de Mae Phaem rivier toe.

De bomen die het water opnemen 'ademen' het water weer uit: evapotranspiratie. Het water wordt zo weer deels afgegeven in de lucht en stroomt deels via de bomen op het oppervlak. Uit onderzoek is gebleken dat het spons effect het debiet met 50%(!) kan verhogen ten opzicht van het normale debiet gecreëerd door grondwaterstromingen.

De praktijkmetingen zijn verricht in het droge seizoen. Figuur 28 en 29 komen overeen met de beweringen van het spons effect. In de nacht en ochtend is er een verhoogde luchtvochtigheid ten opzichte van de middag en avond. De grond en bomen zijn overdag uitgedroogd door de hoge temperaturen, waardoor het vocht op wordt gezogen. Overdag wordt het 'opgezogen' vocht/water afgegeven wat tot een verhoogde waterstand en debiet leidt (Fred L. Ogden, Trey D. Crouch, 2013).

7.2.2 MENSELIJK INVLOED DEBIET

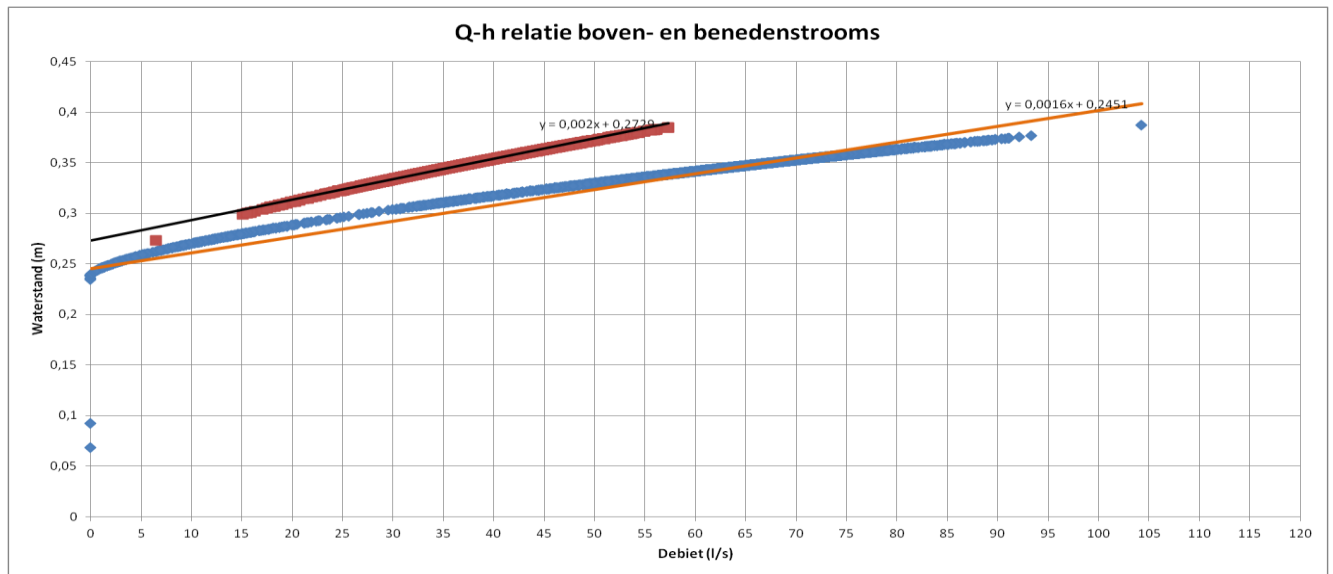
Het water uit de Mae Phaem rivier wordt gebruikt voor drink- en irrigatiewater. Het drinkwater is verwaarloosbaar als gekeken wordt naar het wateroppervlak en het debiet wat optreedt en dat wordt afgezet tegen de afnemers (80 tot 160 personen).

Het irrigatiewater kan daar in tegen wel invloed hebben op het debiet. De vele rijstvelden in het gebied hebben veel water nodig, aangezien de verbouwde rijstplanten altijd onder water moeten staan.

Na visuele inspectie is gebleken dat de rijstvelden momenteel niet gebruikt worden vanwege het droge seizoen. Overige landbouw is niet of nauwelijks aanwezig rondom de Mae Phaem rivier. Het menselijke invloed op de kwantiteit van de rivier heeft in de meetperiode geen invloed gehad.

7.2.3 Q-H RELATIE

Om inzicht te krijgen welk debiet optreedt bij welke waterstand, wordt een Q (debiet) h (waterhoogte) relatie opgesteld. Q-h relatie kan gebruikt worden door de dorpsbewoners om bijvoorbeeld een inschatting te maken hoeveel water zijn kunnen onttrekken voor irrigatie. In figuur 31 is een weergave van de Q-h relatie.



FIGUUR 31. Q-H RELATIE BOVEN- EN BENEDENSTROOMS. BLAUW(PUNT) EN ORANJE(LIJN): BOVENSTROOMS; ROOD(PUNT) EN ZWART(LIJN): BENEDENSTROOMS

Bij de lijnen in figuur 31 is een formule opgesteld van de trendlijn van de Q-h relatie. Hiermee kan in de toekomst het debiet (y) worden bepaald, wanneer de waterstand wordt gemeten (x). Opvalt is dat de trendlijnen vrij vlak lopen. Dit betekent dat het debiet sterk reageert op een (kleine) waterstandverhoging.

7.3 KALIBRATIE

Gekeken wordt of de debieten die volgen uit de Rehbockmethode overeenkomen met de zoutinjectiemethode. Indien een aanzienlijke afwijking, kunnen de waarden van de Rehbockstuw worden gekalibreerd met de waarden van de zoutinjectiemethode. In tabel 7 zijn de waarden van de Rehbockstuw afgezet tegen de waarden van de zoutinjectiemethode.

Stuw	Datum/Tijd [dd-mm-jjjj uu:mm]	Debiet Rehbockstuw[l/s]	Debiet zoutinjectiemethode[l/s]	Afwijking Rehbock t.o.v. zoutinjectie[%]
Boven	04-02-2014 16:38	-	83	-
Boven	04-02-2014 16:43	-	99	-
Boven	20-2-2014 11:46	48	74	51,2
Boven	20-2-2014 11:49	47	56	19,2
Boven	20-2-2014 11:53	47	71	51,1
Bened en	22-02-2014 16:46	43	105	144
Bened en	22-02-2014 16:48	44	100	68,2
Bened en	22-02-2014 17:45	44	74	68
Bened en	22-02-2014 17:48	48	66	37,5
Bened en	22-02-2014 17:50	48	60	25

TABEL 7. AFWIJKING DEBIET REHBOCKSTUW METHODE T.O.V. DE ZOUTINJECTIEMETHODE

Te zien is dat er een grote afwijking is tussen de beide methodes (25% tot 144%(!)). Echter zijn er te weinig zoutmetingen verricht om de meetgegevens van de Rehbockstuw te kalibreren. Er moet op verschillende tijdstippen op verschillende dagen zoutmetingen worden gedaan. De grondwaterstromingen kunnen verschillen tussen overdag en nacht. De grondwaterstromingen *voeden* de rivier in het droge seizoen, waardoor van de kalibratie is afgeweken. Indien er in de toekomst meer metingen worden verricht door middel van de zoutinjectiemethode, wordt geadviseerd dit op verschillende dag op verschillende tijdstippen uit te voeren. Hierdoor kunnen de toekomstige praktijkmetingen wel worden gekalibreerd.

8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN PRAKTIJKMETINGEN

De praktijkmetingen zijn verricht in een relatief korte meetperiode. De praktijkmetingen zijn in het droge seizoen genomen, waardoor er geen metingen zijn verricht waar neerslag invloed op had. De praktijkmetingen geven wel een duidelijk inzicht in het waterstand- en debietverloop van de Mae Phaem rivier in de droge periodes. De dag- en nachtritmes zijn duidelijk te herkennen en terug te herleiden naar de natuurlijke oorzaken van het ritme.

De praktijkmetingen zijn uitgevoerd door verschillende meetapparaturen. De meetapparaturen werden gebruikt om de waterstanden en debieten bij beneden- en bovenstroomse stuwen te bepalen. In tabel 8 is een samenvatting gegeven van de te meten waarden met de gebruikte meetapparatuur.

Gemeten waarde	Meetapparatuur	Formule / uitwerking	Aantal meetlocaties	Frequentie metingen	Beperkingen	Opmerkingen / verbeteringen
Waterstand	Micro-Divers	Paragraaf 6.2.1	2	5 minuten	Twee meetapparaten, twee keer meetfouten	-
Debiet (Rehbock)	Omrekenformule	Paragraaf 6.3.1	2	5 minuten	Lastig te monteren en in goede staat te houden	-
Debiet (zoutinjectie)	CTD-Diver	Paragraaf 6.3.2	2	5 seconde	Veel randvoorwaarden waar aan voldaan moet worden, dus niet overal toepasbaar	Moet op meerdere dagen en tijdstippen worden toegepast
Temperatuur	VantagePro 2	-	1	5 minuten	Meetgeheug en snel vol, lastig te plaatsen	Methode vinden om data te behouden (vergroten geheugen)
Luchtvochtigheid	VantagePro 2	-	1	5 minuten	Meetgeheug en snel vol, lastig te plaatsen	Methode vinden om data te behouden (vergroten geheugen)

TABEL 8. OVERZICHT GEMETEN WAARDE EN VERWANTE COMPONENTEN

De methodes zijn in de praktijk lastiger toe te passen dan in de theorie te merken is. De Rehbockstuw moet robuust zijn en goed aansluiten in het profiel. Wanneer het doorstroomprofiel niet correct door de Rehbockstuw wordt afgesloten, sijpelt er water onder of langs de stuw. Hierdoor treedt waterstands verlaging op, waardoor de metingen

die zijn verricht niet kunnen worden meegenomen in verder onderzoek. Door deze meetfout is er een stuk van de dataset afgehaald, omdat de meetwaardes soms negatief uitsloegen. Aangeraden wordt om in de toekomst een robuustere Rehbockstuw te nemen, die bijvoorbeeld door bevestiging aan de dam op zijn plaats blijft zitten.

De zoutmetingen zijn te weinig en niet frequent uitgevoerd. Om de debieten die volgen uit de Rehbockmethode te kalibreren met de zoutinjectiemetingen, moet er dagelijks en op verschillende tijdstippen worden gemeten. Hierdoor wordt een uitgebreide en vertrouwelijke dataset opgebouwd. Hoe meer metingen er gemaakt worden, hoe nauwkeuriger er gekalibreerd kan worden.

Alle metingen zijn verricht in het droge seizoen. De Mae Phaem rivier wordt in deze periode alleen van water voorzien door grondwaterstromingen en vocht in de lucht wat langzaam (deels) afstroomt naar de rivier. De (extreme) regenval die in het gebied kan plaats vinden kan goed inzicht geven op de debieten die optreden bij neerslag. Dit is belangrijk om het wateraanbod te bepalen in het natte seizoen. In het natte seizoen wordt er meer landbouw bedreven, waardoor er meer water nodig is. Door de uitbreiding van de landbouw in het gebied, kan het voorkomen dat er te weinig water beschikbaar is voor de verschillende landbouwgebieden en drinkwaterafnemers met alle gevolgen van dien.

Het gedrag van de Mae Phaem rivier is in de korte onderzoeksperiode wel duidelijk geworden. De rivier heeft een sterk dag- en nachtritme wat veroorzaakt wordt door twee natuurlijke oorzaken: verdamping en het 'sponseffect'. Beiden verschijnselen zijn te herleiden wanneer het debiet en de waterstand worden afgezet tegen de temperatuur en luchtvochtigheid.

9 MODELLERING MAE PHAEM RIVIER

De praktijkmetingen geven goed inzicht op het gedrag van de Mae Phaem rivier in de onderzoeksperiode, die volledig in het droge seizoen is gevallen. De natte periode (het regenseizoen) is buiten de metingen gevallen. Door het tropische klimaat in Thailand is er veel neerslag in het regenseizoen wat gepaard gaat met (extreem) intensieve buien. De buien hebben een grote invloed op de waterstand en het debiet van de rivier. Door de toenemende ontbossing in het stroomgebied, zal de neerslag alleen maar meer invloed krijgen. Om inzicht te bieden in het gedrag van de rivier bij de buien is een GIS (*geographic information system*) opgezet.

9.1 DOEL MODEL

Het model moet inzicht geven hoe de Mae Phaem rivier reageert op de neerslag die valt in het stroomgebied en welke eventuele gevolgen dit heeft. De ontbossing die van 2000 tot 2012 heeft plaatsgevonden wordt meegenomen in het model. Het model moet antwoord geven op de volgende vragen:

- Hoe reageert het debiet van de rivier op de neerslag?
- Welke veranderingen zijn in het debiet aan te merken bij ontbossing?
- Wat betekent dit voor de toekomst?

9.2 GIS / ARCMAP

Voor het opzetten van het model wordt gebruik gemaakt van het programma ArcMap (GIS-systeem). In ArcMap is alle data te: generen, visualiseren, bewerken en analyseren. (www.esri.nl) De gegevens die in GIS worden gebruikt zijn locatiegebonden, dit houdt in dat aan alle data in ArcMap coördinaten zijn verbonden. Hierdoor is het mogelijk de data over elkaar 'heen' te leggen, om data en analyses met elkaar te verbinden. Alle data is handmatig aan te passen, hierdoor is het mogelijk om toekomstige situaties te generen.

9.3 RUNOFF CURVE NUMBER

Het model dat in GIS wordt gebouwd is het Runoff Curve Number (RCN). Dit model is ontworpen door de een tak van de Amerikaanse overheid: Natural Resources Conservation Service. Het model is empirisch vastgesteld. Het

model maakt gebruik van vier factoren: bodem (soil), landgebruik (landuse), hydrologische toestand (toestand landgebruik: goed onderhouden of slechter onderhouden) en behandeling/plaatsing (hoe de landbouwgebieden of bossen zijn opgezet). Uit de bodemgegevens zijn vier verschillende klasse opgesteld. Deze klasse zeggen iets over de afstromingen van het water in het gebied (snelheid en vertraging). De volgende vier klasse zijn opgesteld:

- Groep A: hoge infiltratie snelheden vinden in deze groep plaats, zelfs wanneer de bodem is verzadigd. De bodem bestaat in deze groep voornamelijk uit zand of grind. De afstroming zal door de berging en drainerende werking van de grond laag zijn. Hierbij ligt de infiltratie hoger dan 75 mm/uur.
- Groep B: middelmatige infiltratie in (on)verzadigde toestand. De bodem is van een fijnere structuur dan groep A, waardoor er minder berging is in de poriën. De infiltratiesnelheid liggen tussen de 35- en 75 mm/uur.
- Groep C: lage infiltratiesnelheden in (on)verzadigde toestand. De berging in de bodem is minimaal evenals de infiltratie snelheden. De infiltratiesnelheid ligt tussen de 5- en 10 mm/uur
- Groep D: nauwelijks tot geen infiltratiesnelheid. Deze groep komt vooral voor in stedelijke gebieden. Door de verharding kan het water niet de grond in en stroomt direct af. Hierbij zijn dus hoge afstroomsnelheden. De infiltratie ligt lager dan 5 mm/uur.

Uit de bodemgroepen in combinatie met het landgebruik kan het *Curve Number* worden vastgesteld. Dit nummer wordt later in een berekening omgezet tot een debiet. In figuur 32 is een voorbeeld te zien uit het opgestelde Curve Number tabel.

Land use or cover	Treatment or practice	Hydrological condition	Hydrological soil group			
			A	B	C	D
Fallow	Straight row	Poor	77	86	91	94
Row crops	Straight row	Poor	72	81	88	91
	Straight row	Good	67	78	85	89
	Contoured	Poor	70	79	81	88
	Contoured	Good	65	75	82	86
	Contoured/terraced	Poor	66	74	80	82
	Contoured/terraced	Good	62	71	78	81

FIGUUR 32. VOORBEELD CURVE NUMBER BEPALING UIT TABEL

Tegenwoordig zijn er honderden bodem- en landgebruiktypen gelinkt aan een Curve Number, waardoor deze methode eenvoudig in theoretisch gebruik is. (Wageningen Universiteit, Curve Number Method, Dictaat: 183157, datum: onbekend, auteur: onbekend).

Het afstroomdebiet wordt bepaald aan de hand van de volgende methode:

$$Q_{run} = \frac{(P - 0,2 \left(\frac{1000}{CN}\right))^2}{P + 0,8 \left(\frac{1000}{CN} - 10\right)}$$

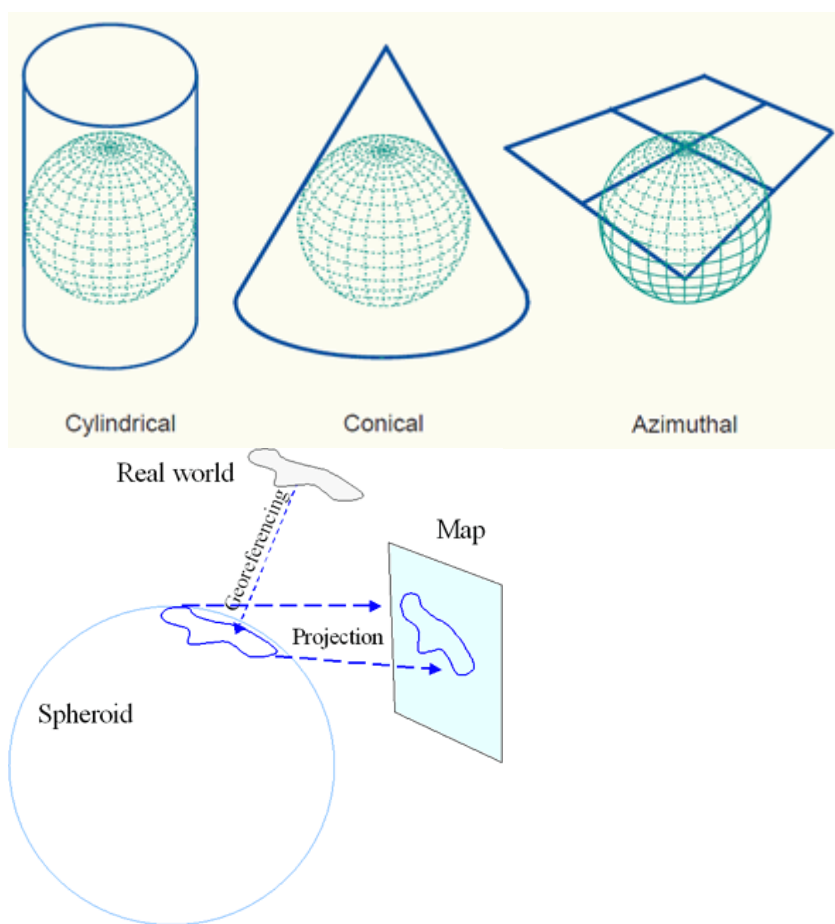
Waarin:

- Q_{run} : Beschikbare Debiet [mm]
- P : Precipitation / neerslag [mm]
- CN : Curve Number [-]

Het uiteindelijke debiet in kubieke meters per seconde wordt bepaald aan de hand van het afstromendoppervlak (m^2) en de regenduur (s).

9.4 DATA INPUT MODEL

Om het model op te stellen zijn verschillende datasets nodig. In deze paragraaf wordt beschreven welke data gebruikt wordt. Alle data wordt gebruikt in raster formaat. Raster data is een 2D-data- of 3D-dat laag. Raster data is opgebouwd uit pixels (hokjes). Elke hokje heeft een eigen waarde en eigen coördinaten (x,y en z coördinaten). De rasterformaten zijn altijd geformatteerd in een geografisch coördinaten systeem. Dit is een cilindrische weergave van wereld, het volgt dus de vorm van de aarde. Deze data is echter niet te gebruiken om een model mee op te bouwen, doordat de weergave in ArcMap rond loopt. Alle data wordt hierdoor omgezet naar een geprojecteerd coördinaten systeem. Een geprojecteerd coördinaten systeem bevat ook: x (breedte), y (lengte) en z (hoogte) data. Echter is deze data azimuthaal weergegeven, een vlakke weergave. In figuur 33 is een weergave gegeven van een cilindrische en azimuthale weergave en hoe een project van cilindrisch naar azimuthaal eruit ziet.

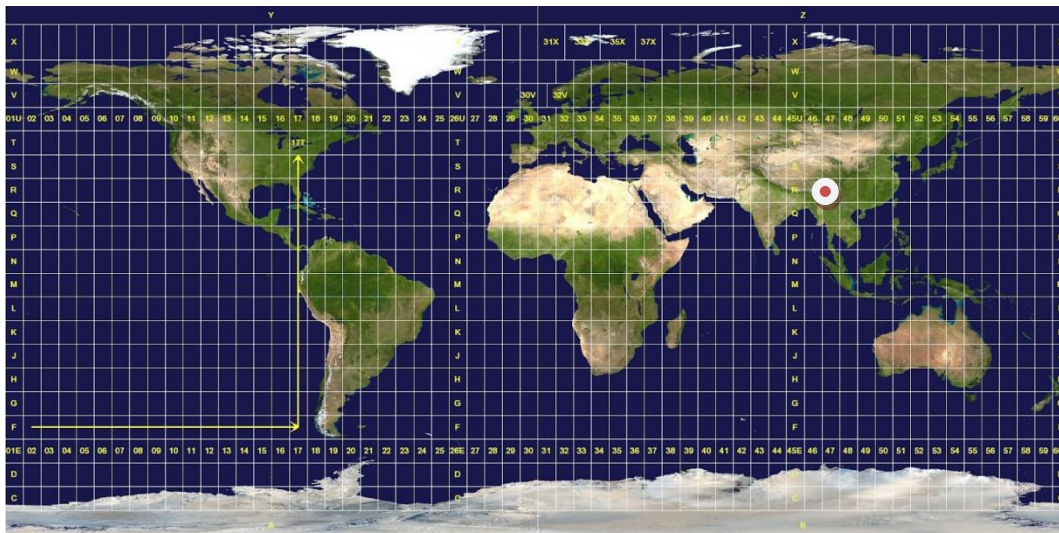


FIGUUR 33. WEERGAVE CILINDRISCHE EN AZIMUTHALE WEERGAVE

([HTTP://KARTOWEB.ITC.NL/GEOMETRICS/MAP%20PROJECTIONS/MAPPRO.HTML](http://kartoweb.itc.nl/geometrics/map%20projections/mappro.html))

Door de geprojecteerde weergave zijn alle data sets eenvoudig op elkaar te plaatsen. De landgebruikdata bevat ook geen z-coördinaten, waardoor deze onbruikbaar zou zijn in een geografisch weergave systeem.

De data wordt in het geografisch coördinatensysteem: WGS-84-World aangeleverd. Dit is een algemeen coördinatensysteem wereldwijd. Het coördinatensysteem wordt in ArcMap omgezet naar een geprojecteerd systeem. Dit projectiesysteem moet echter wel overeenkomen met de coördinaten van het geografische coördinatensysteem. Doordat een projectiesysteem vlak is, is de wereld opgedeeld in verschillende zones voor geprojecteerdesystemen aangegeven in figuur 34.



FIGUUR 34. ZONES GEPROJECTEERDE COÖRDINATENSISTEMEN ([HTTP://SOCOLZAHID-EN.BLOGSPOT.NL/2012/07/BANGLADESH-TRANSVERSE-MERCATOR-BTM.HTML](http://SOCOLZAHID-EN.BLOGSPOT.NL/2012/07/BANGLADESH-TRANSVERSE-MERCATOR-BTM.HTML))

Het onderzoekgebied ligt in zone R (x) 47 (y). Hierdoor is alle rasterdata omgezet naar het projectiesysteem: WGS-84 UTM Zone 47(R).

Alle data die is aangeleverd is afkomstig uit het jaar 2012.

9.4.1 BODEMDATA

Om het CN-nummer te bepalen is de bodemdata en landgebruik data van essentieel belang. De bodemdata is verkregen van de Amerikaanse regering (afdeling: Natural Resources Conservation Service) in samenwerking met de NASA. Uit de data blijkt dat in het gebied, maar één grondsoort voorkomt. De data die beschikbaar is, geeft maar een grondlaag aan. Aangenomen wordt dan ook dat deze grondlaag constant is tot een ondoordringbare laag om de berging en infiltratiesnelheid te bepalen.

9.4.2 LANDGEBRUIKDATA

De landgebruikdata is van dezelfde bron als de bodemdata. In de data is te zien dat er drie verschillende landgebruik types in het gebied voorkomen: dicht begroeid oerwoud, open landbouw gebieden (rijstvelden) en open vlaktes. De landbouwdata wordt ook aangepast aan de hand van de gegevens uit paragraaf 5.3.5 (ontbossing). Hierin worden verschillende vlaktes die als gras of landbouw staan gemarkeerd, omgezet naar dicht begroeid oerwoud. Hierdoor verandert het Curve Number, waardoor het afstroomdebiet verandert.

9.4.3 WEERDATA

In het onderzoekgebied is geen volledige dataset opgebouwd van de weergegevens. De overige data is afkomstig uit 2012, hierdoor is ook de neerslag uit 2012 nodig om een reële analyse uit te voeren. De weerdata die in het model is gebruikt is afkomstig uit Chiang Dao. Chiang Dao is hemelsbreed 28 kilometer verwijderd van Ban Mae Phaem. De data is verkregen via het: Thaise Meteorologisch Instituut, die meerdere weerstations beheert in heel Thailand. De data is op gemiddelde dagbasis aangeleverd. Hierdoor wordt het berekende debiet automatisch in kubieke meters per dag berekend.

9.4.4 DIGITAL ELEVATION MAP (DEM, DIGITALE HOOGTE KAART)

Om het stroomgebied en stroombanen vast te stellen is een digitale hoogte kaart nodig. De hoogte kaart is een raster bestand van: 50 meter bij 50 meter. De data is afkomstig van de NASA en wordt elk jaar opnieuw bepaald aan de hand van satellieten. De data die gebruikt is, is afkomstig uit 2012. Per pixel is in de DEM aangegeven wat de hoogte (z-as) is in meters, deze staan gekoppeld aan de coördinaten. Elke hoek van een pixel is de DEM heeft een

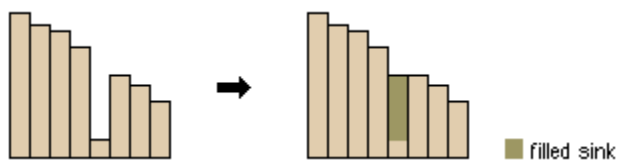
coördinaat. Dit houdt in dat één coördinaat verbonden is aan vier pixels en aan de zijanten van de map aan twee pixels.

9.5 MODELPOUW

Om tot een afstroomdebiet te komen wordt het model in stapopbouw beschreven. De stappen zijn in de volgorde gevolgd als beschreven.

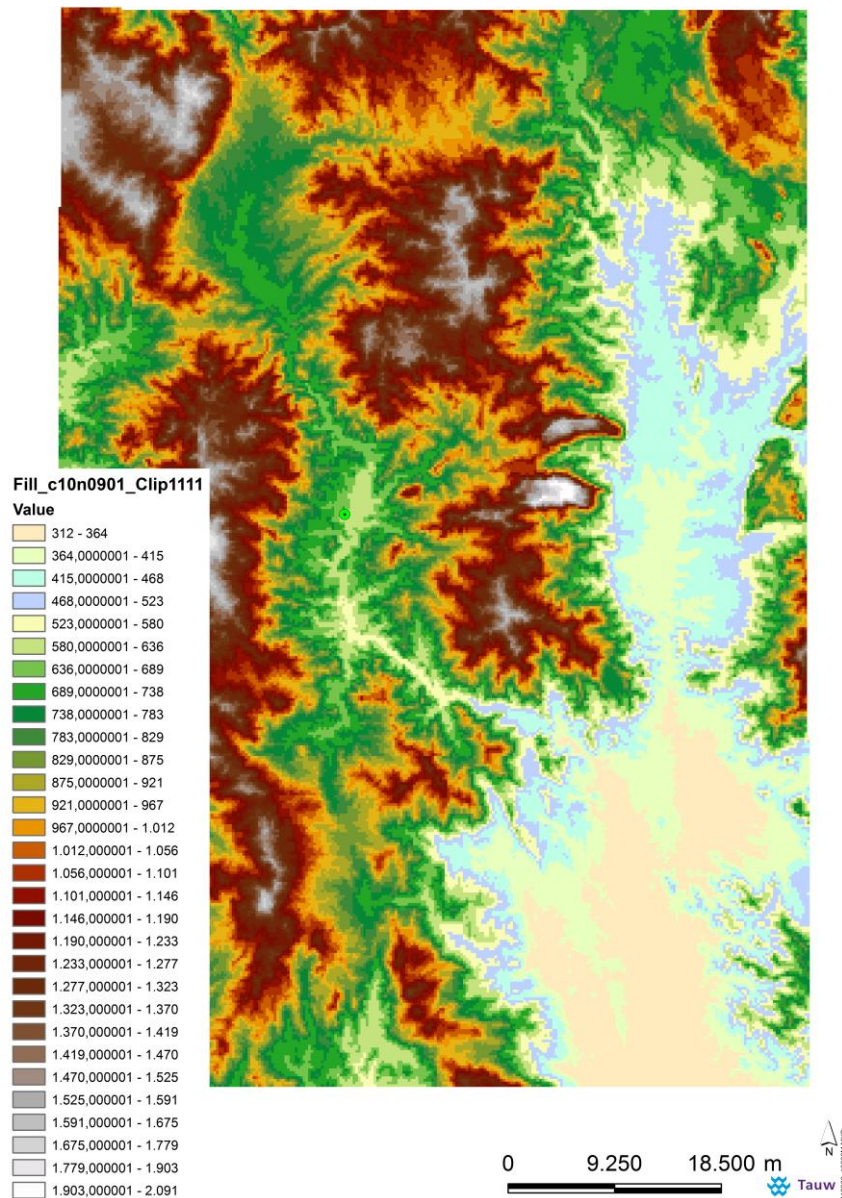
1. *Preparen Digital Elevation Map*

In de DEM zitten soms oneffenheden. Deze oneffenheden worden *sinks (gaten)* genoemd. Dit zijn pixels die sterk afwijken van de omliggende pixels. Deze gaten worden *gevuld*. Dit houdt in dat de hoogte wordt aangenomen van de laagste waarde van de omliggende pixels. In figuur 35 is een voorbeeld gegeven van het vullen van een sink. (www.arcgis.nl/dataresourcecenter)



FIGUUR 35. VULLEN VAN EEN DEM SINK

Er komen weinig sinks voor in de DEM die wordt gebruikt voor het model. In totaal is er één sink gevonden en gevuld.



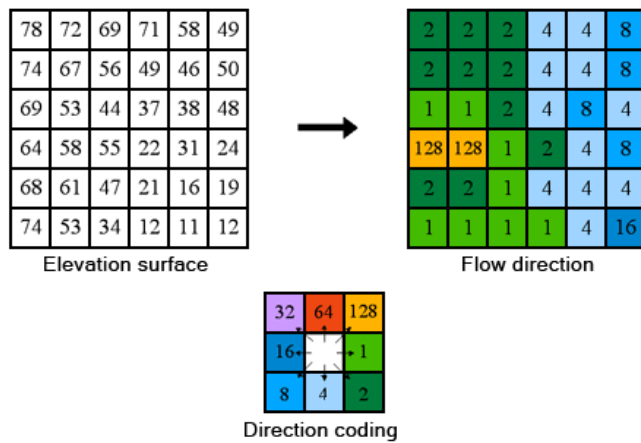
FIGUUR 36. DEM ONDERZOEKGEBIED (GEVULD). GROENE STIP: BAN MAE PHAEM

In figuur 36 is de gevuld DEM te zien van het gebied in Noord-Thailand waar het onderzoekgebied in ligt. De hoogtes lopen van 312 meter (laagste punt) tot 2091 meter (hoogste punt).

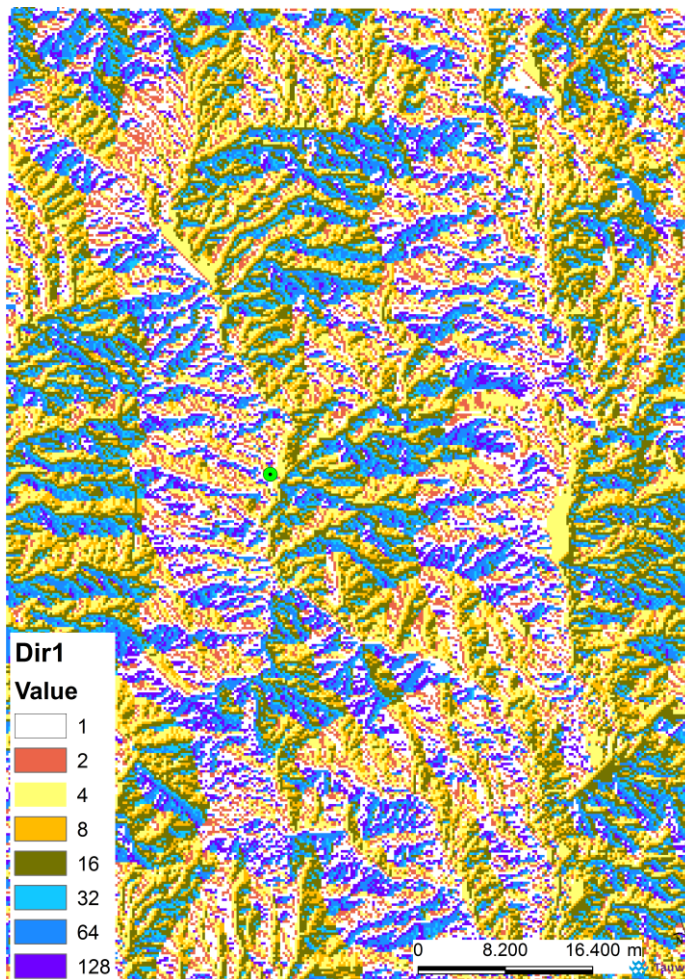
2. Stroomrichting

Om te bepalen waar het water naar toestroomt, wordt gebruik gemaakt van de gevulde DEM map. Elke pixel sluit aan acht andere pixels. Het water kan dus acht verschillende kanten opstroomen. Gekeken wordt welke pixel van de achter het laagst ligt. Water zoekt altijd het laagste punt, dus zal automatisch hier naar toe stromen. In figuur 37 is een weergave gegeven van de werking van de stroom richting bepaling.

(www.arcgis.nl/dataresourcecenter)



FIGUUR 37. WERKING STROOM RICHTING BEPALING. LINKSBOVEN: DEM, RECHTSBOVEN STROOMRICHTINGEN, ONDER: STROOM RICHTINGCODE (WWW.ARCGIS.NL/DATARESOURCECENTER)



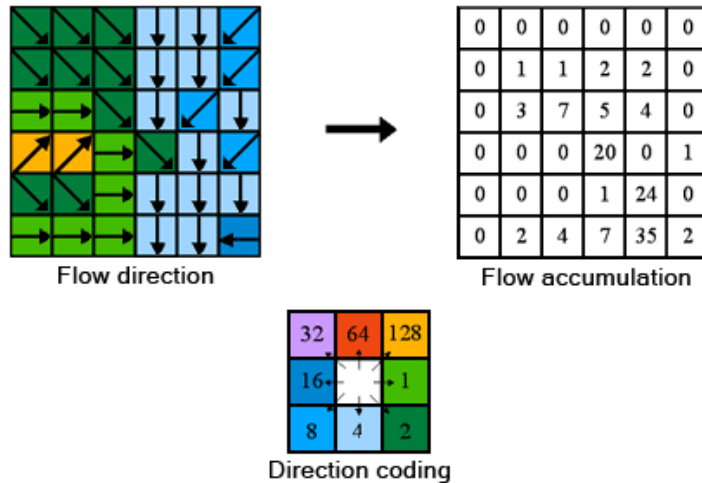
FIGUUR 38. STROOMRICHTING ONDERZOEKGEBIED. GROENE PUNT: BAN MAE PHAEM

In figuur 38 is een weergave gegeven van de stroomrichtinggrid van het onderzoekgebied.

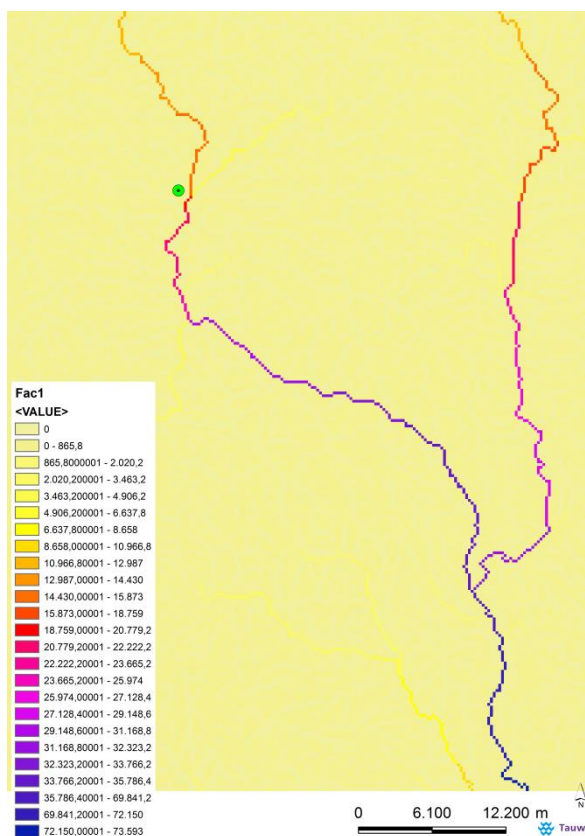
3. Accumulatie pixels

Van de stroomrichting bepaling kan worden vastgesteld waar het water naar toestroomt. Om te bepalen waar de waterstromen zich in de DEM bevinden, worden de pixels bij elkaar opgeteld. De accumulatie wordt uitgevoerd aan de hand van de DEM en de stroomrichting grid. Er wordt gerekend vanaf het hoogste

punt van de DEM map naar het laagste punt van de DEM map. Per pixel wordt gekeken hoeveel pixels erop afstromen en telt die bij elkaar op (accumulatie). Uiteindelijk worden de waterstromen bekend, omdat daar de meeste pixels op af stromen. Op deze manier worden ook de kleine- en grote waterstromen van elkaar onderscheiden.



FIGUUR 39. ACCUMULATIE PIXELS. LINKSBOVEN: STROOMRICHTING, RECHTSBOVEN: ACCUMULATIE VAN DE PIXELS, ONDER: RICHTINGCODE (WWW.ARCGIS.NL/DATARESOURCECENTER)



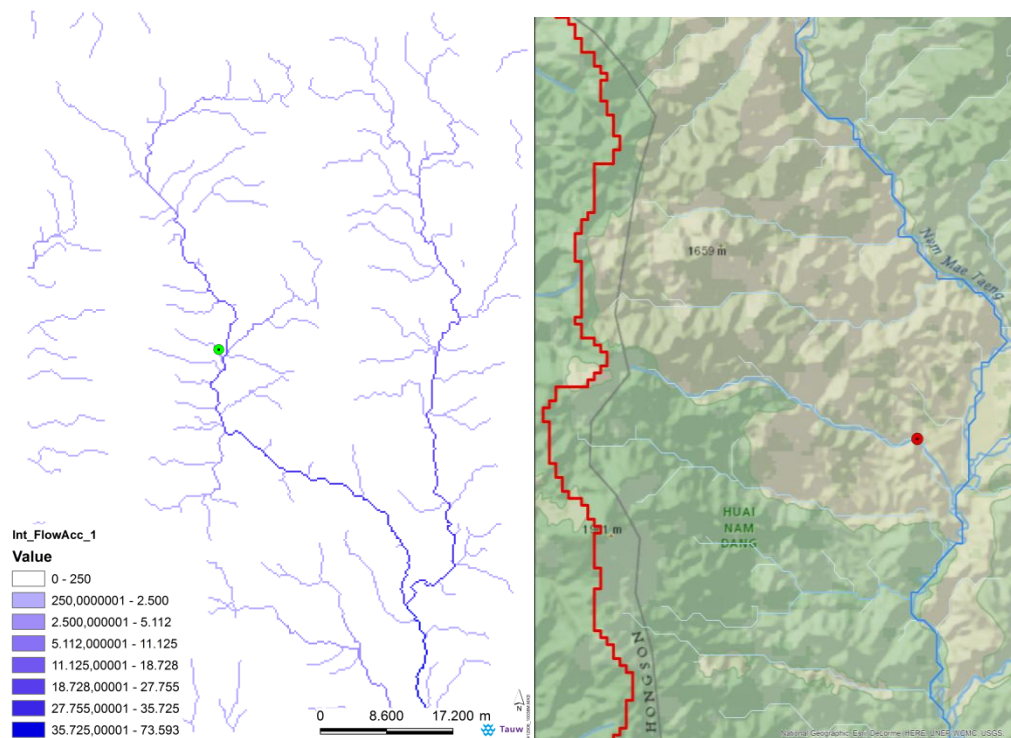
FIGUUR 40. OVERZICHT PIXEL ACCUMULATIE STROOMGEBIED. GROENE PUNT: BAN MAE PHAEM

Te zien is dat de Mae Phaem rivier (groene punt) en kleine waterstroom is, waar maximaal 2020 op afstromen. In de pixel accumulatie is duidelijk te zien wat de grote rivieren zijn, die de hoogste afvoer hebben.

4. Stroombanen bepalen

In de pixel accumulatie is duidelijk te zien wat de grote stromen zijn. De kleine stromen worden niet duidelijk weergegeven doordat er weinig pixels op af stromen. Om een helder beeld van de waterstromen in het gebied wordt een groot deel van de data er uit gefilterd. Bij de filter is gekozen om alles onder de 250 pixels er uit te filteren. Deze stromen zijn te klein en kunnen in de werkelijkheid niet eens een stroombaan zijn.

De filter is gekozen aan de hand van bestaande waterstroomkaarten. De waterstroomkaarten (google maps) zijn onder de stroomaccumulatie gelegd om zo de Mae Phaem rivier in zijn volledigheid (inclusief zijstromen) vast te stellen.



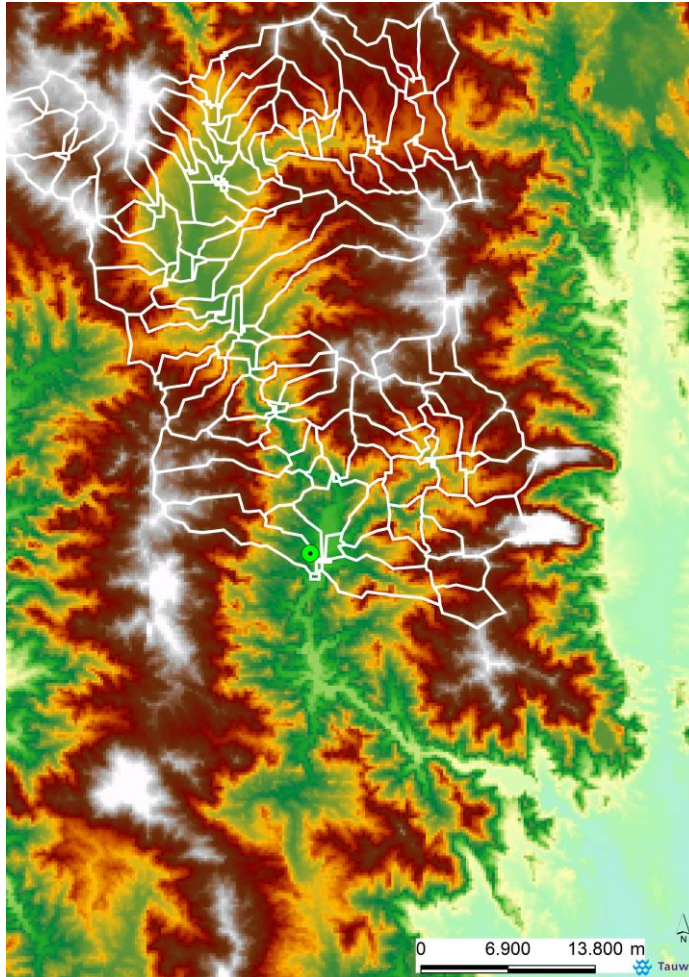
FIGUUR 41. OVERZICHT STROOMBANEN EN BESTAANDE WATERSTROOMKAART. GROENE PUNT LINKS EN RODE PUNT RECHTS: BAN MAE PHAEM

In figuur 41 is een overzicht te zien van de gefilterde pixel accumulatie. De waterstromen zijn duidelijk zichtbaar en komen overeen met de waterstroomkaarten.

5. *Bepaling stroomgebieden*

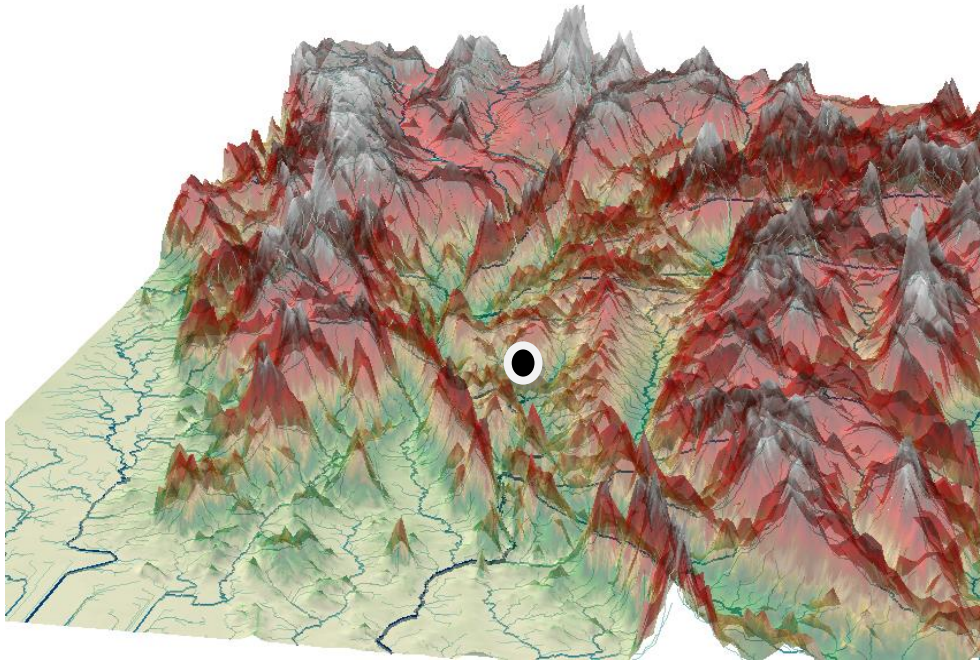
Om te bepalen welk oppervlak afstroomt op de Mae Phaem rivier, wordt het stroomgebied bepaald. Het stroomgebied is het gebied dat het water vervoert door middel van een waterstroom. Het stroomgebied wordt bepaald aan de hand van de stroombanen, pixel accumulatie en DEM.

Het stroomgebied wordt bepaald vanaf het laagste punt van een stroom (uitstroming). Vanaf hier wordt gekeken welk gebied afstroomt op de rivier aan de hand van de hoogte gegevens en pixel accumulatie. De berg- en heuvelkammen (top van een berg of heuvel) wordt als grens aangehouden.



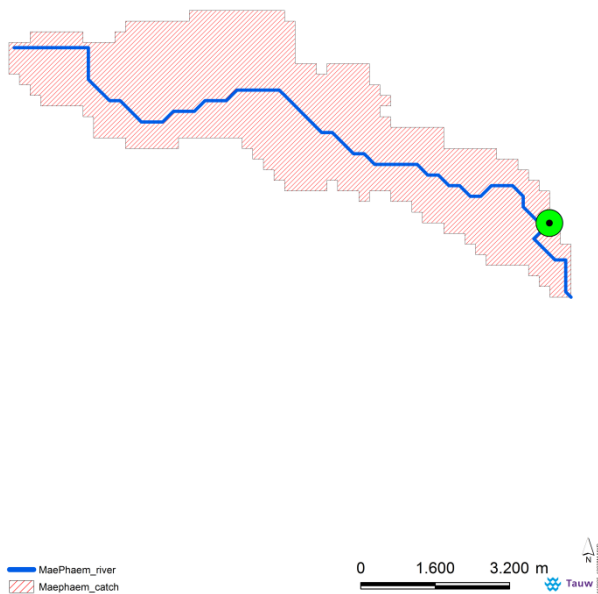
FIGUUR 42. STROOMGEBIED BEPALING. GROENE STIP: BAN MAE PHAEM

In figuur 42 zijn de stroomgebieden in het gebied te zien boven de DEM. Nu het stroomgebied van de Mae Phaem rivier bekend is wordt de rest van de data uit het model gefilterd, om te concentreren op het Mae Phaem stroomgebied.



FIGUUR 43. 3D-WEERGAVE STROOMGEBIEDEN. ZWARTE STIP: BAN MAE PHAEM

In figuur 43 is een 3D-weergave gegeven van het gebied. Hierin is duidelijk te zien hoe waterlopen stromen door de laagste punten van het gebied.



FIGUUR 44. WEERGAVE STROOMGEBIED MAE PHAEM RIVIER

In figuur 44 is het stroomgebied van de Mae Phaem rivier en de Mae Phaem rivier zelf. Deze data wordt verder gebruikt om de afstroming bij neerslag te bepalen.

6. *Curve Numbers bepalen*

De curve numbers worden bepaald door middel van de landgebruikdata en de bodemdata. Beide datasets worden met elkaar gekoppeld om het curve number te bepalen. In tabel 9 is een overzicht te zien van de componenten met de uiteindelijke Curve Number waarde.

Landgebruik	Bodem	Percentage oppervlak stroomgebied [%]	Staat landgebruik	Curve Number
Dichtbegroeid oerwoud	Klei leem	89	Goed	67
Open vlakte / rijstvelden	Klei leem	11	Goed	30

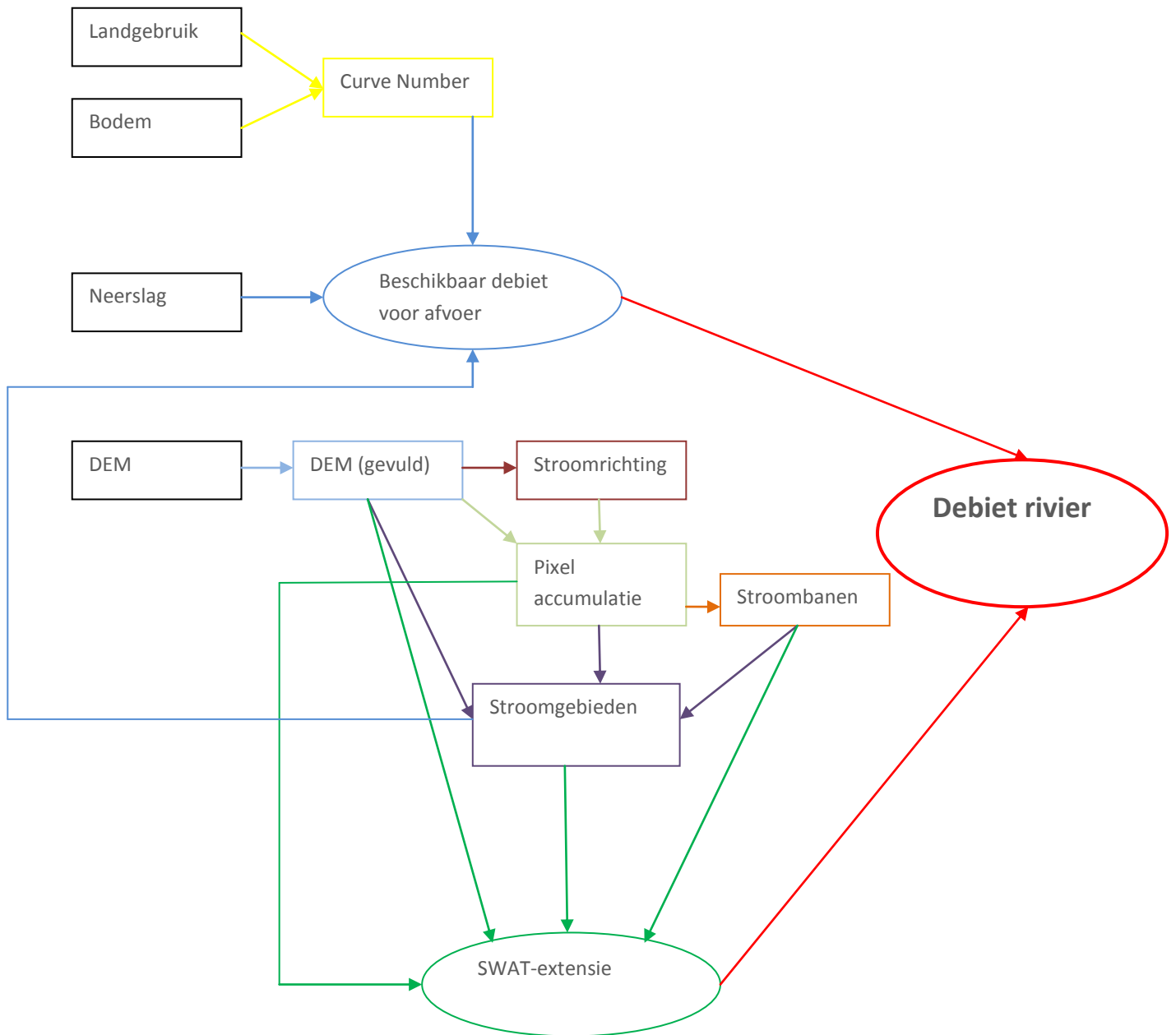
TABEL 9. OVERZICHT COMPONENTEN CURVE NUMBER

Opvalt is dat er twee in plaats van drie landgebruik typen aanwezig zijn. Dit komt, omdat het stroomgebied uit de rest van de data is gefilterd. In het stroomgebied vinden zich twee typen landgebruiken voor volgens de dataset.

7. *SWAT (Soil and water assessment tool)*

De SWAT is een extensie voor ArcMap. SWAT koppelt alle data aan elkaar, die in de voorgaande stappen is bepaald om het afstroom debiet en het debiet van de rivier te bepalen. De SWAT extensie wordt gebruikt, omdat deze ook belangrijke data meeneemt buiten de Curve Number methode om. Het debiet van de rivier wordt mede bepaald door de bodem verhang van de rivier en de verdamping die optreed bij verschillende temperaturen. De SWAT extensie rekent dit automatisch uit, indien de juiste data in het juiste formaat wordt aangeleverd. Door de SWAT extensie te gebruiken wordt een nauwkeurigere weergave van de werkelijkheid weergegeven. (Soil & Water Assessment Tool, 2009)

9.6 OVERZICHT MODEL



9.7 MODELRESULTATEN

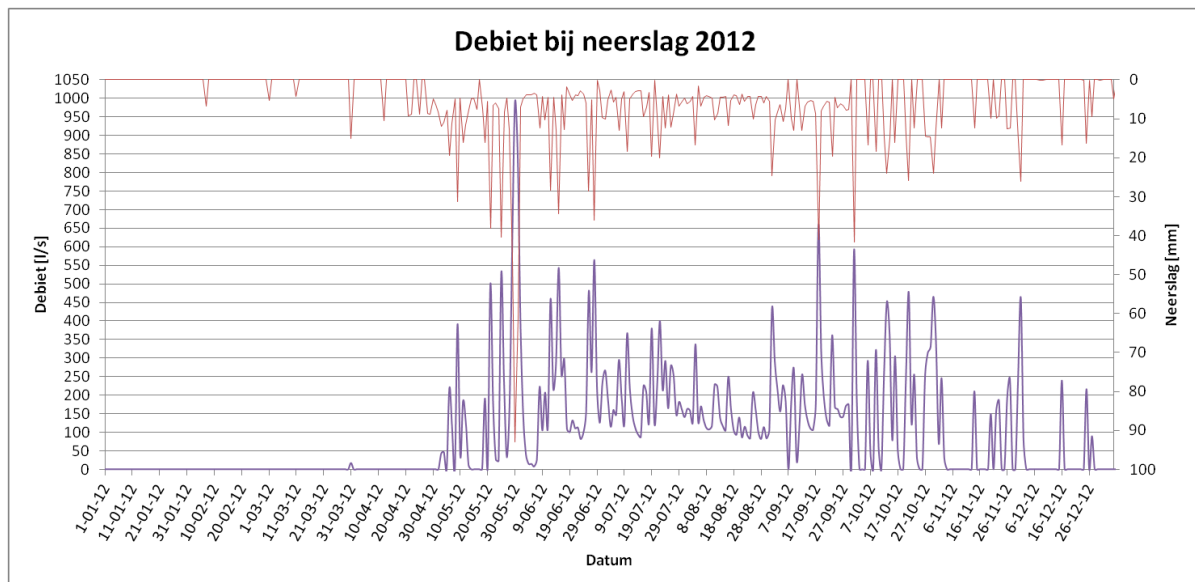
In de modelresultaten is alleen ingegaan op de data die in de hoofdstuk is beschreven. De grondwaterstromingen en luchtvochtigheid die de Mae Phaem rivier in het droge seizoen van water voorzien zijn niet meegenomen in het model. Dit is gedaan vanwege ontbrekende data over het grondwater en de exacte lagen van de bodem. Hierdoor is het niet mogelijk om grondwaterstromingen te modelleren of te voorspellen. Wanneer er een periode geen neerslag valt, zal het model hierdoor ook geen (afstroom) debiet aangeven.

Om het verschil in afvoer te zien tussen 2000 en 2012 door ontbossing, is gebruik gemaakt van de zelfde dataset voor het weer (uit 2012; neerslag en temperatuur).

Het debiet wat uit het model komt is het dagelijks gemiddelde (m^3/dag). Deze waarde is omgerekend naar een gemiddeld debiet per seconde (l/s), omdat de debieten uit de praktijkmetingen ook in deze eenheden zijn bepaald.

9.7.1 AFVOER MAE PHAEM RIVIER 2012

In 2012 is er ten opzichte van 2000 9,78% van het oerwoud verdwenen. De grond die hierdoor vrij is gemaakt is voornamelijk gebruikt voor landbouw. Door het verdwijnen van stukken oerwoud, wordt op voorhand gedacht dat de afvoer van de rivier hierdoor toe gaat nemen en de rivier sneller reageert op neerslag, doordat het hemelwater minder vertraagd wordt door de doordat er minder bomen aanwezig zijn.

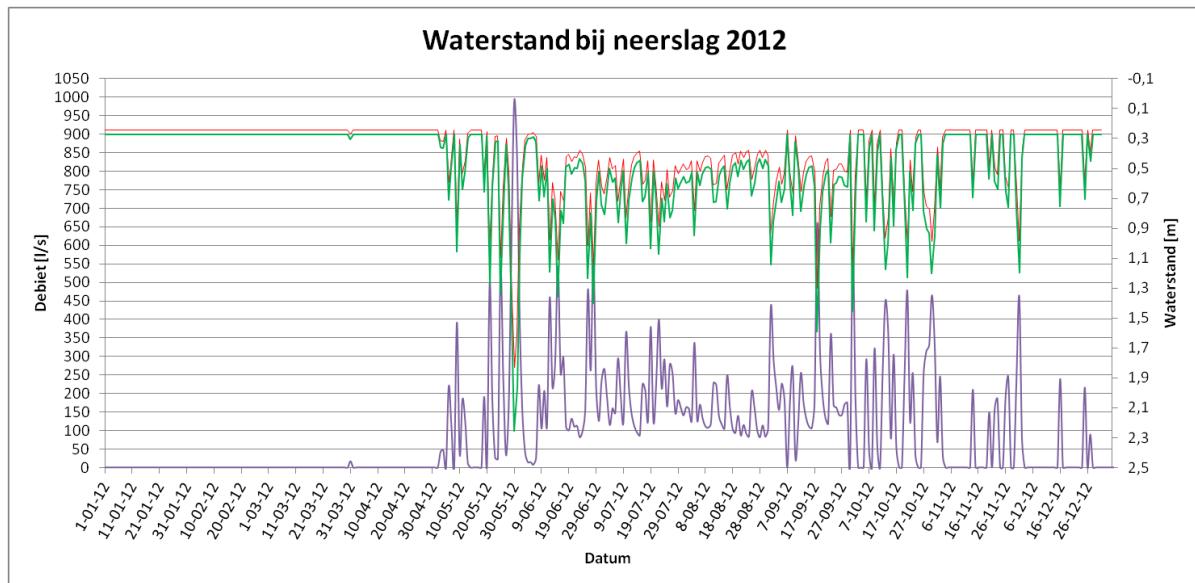


FIGUUR 45. DEBIET MAE PHAEM RIVIER 2012. BLAUW: DEBIET, ROOD: NEERSLAG

In figuur 45 is weergegeven wat het debiet is wat bepaald is door de SWAT extensie in de Mae Phaem rivier. Het droge seizoen is duidelijk zichtbaar in het figuur (december tot en met april). Bij relatief kleine hoeveelheden neerslag (tot 15 mm/dag) is er geen debiet merkbaar, indien er een droge periode vooraf gegaan is. De bodem bergt de neerslag die in het gebied valt en door de verdamping, komt het hemelwater niet richting de Mae Phaem rivier.

Vanaf april neemt de neerslag toe evenals de intensievere buien (tot 90 mm/dag), de exacte intensiteit is niet te bepalen aangezien het dagelijkse neerslaggegevens zijn. De gemiddelde debieten die optreden zijn vele malen hoger, dan gemeten in de praktijkmetingen. Hierdoor zal de waterstand ook sterk toenemen. In de natte periode (regenseizoen) is er veel water in de bodem. Hierdoor is bij een regenbui geen ruimte in de bodem om de nieuwe neerslag te bergen. Het debiet van de rivier reageert hierdoor sneller en sterker op de neerslag die valt in het stroomgebied.

Om inzicht te krijgen in de waterstand die optreedt, wordt gebruik gemaakt van de formules die zijn opgesteld uit de Q-h relaties uit paragraaf: 7.3.2.

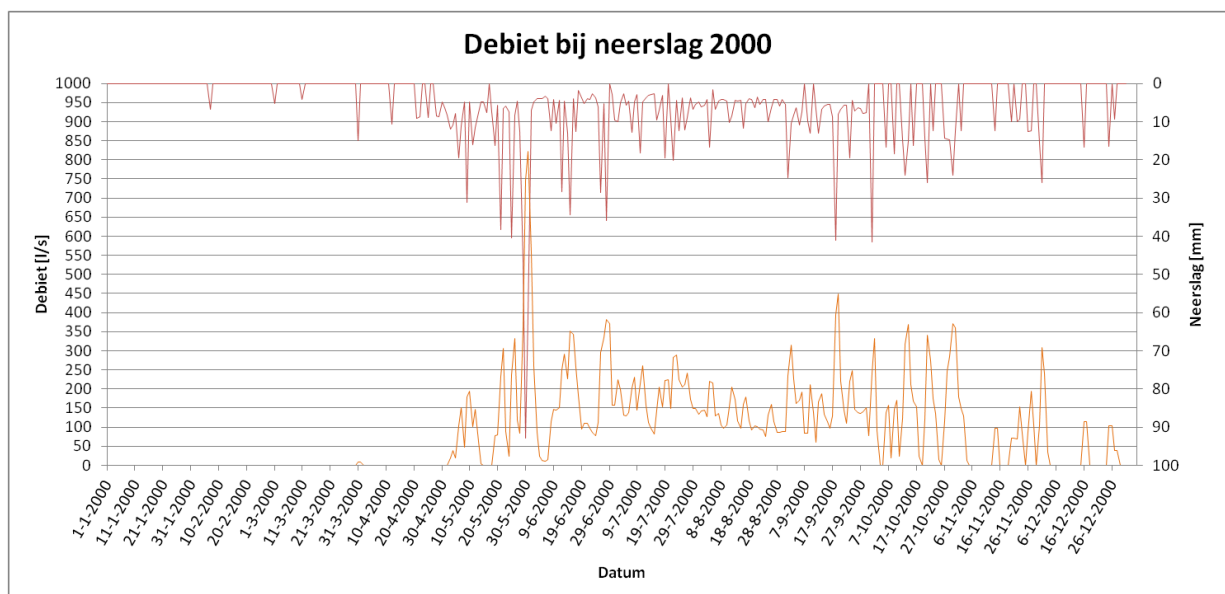


FIGUUR 46. WATERSTAND BIJ DE BOVENSTROOMSE- EN BENEDENSTROOMSESTUW IN 2012. BLAUW: DEBIET, GROEN: BENEDENSTROOMSE STUW, ROOD: BOVENSTROOMSE STUW

In figuur 46 is te zien dat er grote verschillen in de waterstanden merkbaar is tussen het droge- en natte seizoen. Bij extreem hevige neerslag treden er zelf waterstand van: 1,7 tot 2,3 meter op. Bij deze waterstanden is er een grote kans op overstromingsgevaar in Ban Mae Phaem (gelegen naast de benedenstroomse stuw).

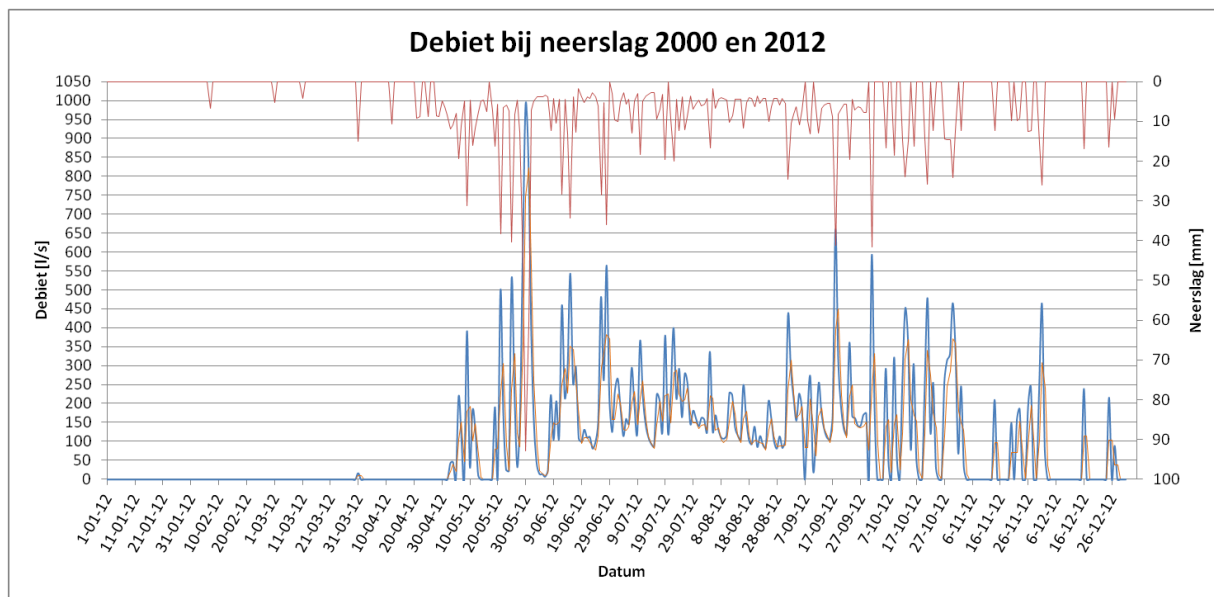
9.7.2 AFVOER MAE PHAEM RIVIER 2000

In 2000 was het oppervlak van het oerwoud groter. Gekeken wordt naar het verschil wat optreedt in debiet. Het zal lastig te zien worden of de River langzamer reageert op de neerslag, aangezien het debiet in een dagelijks gemiddelde is berekend.



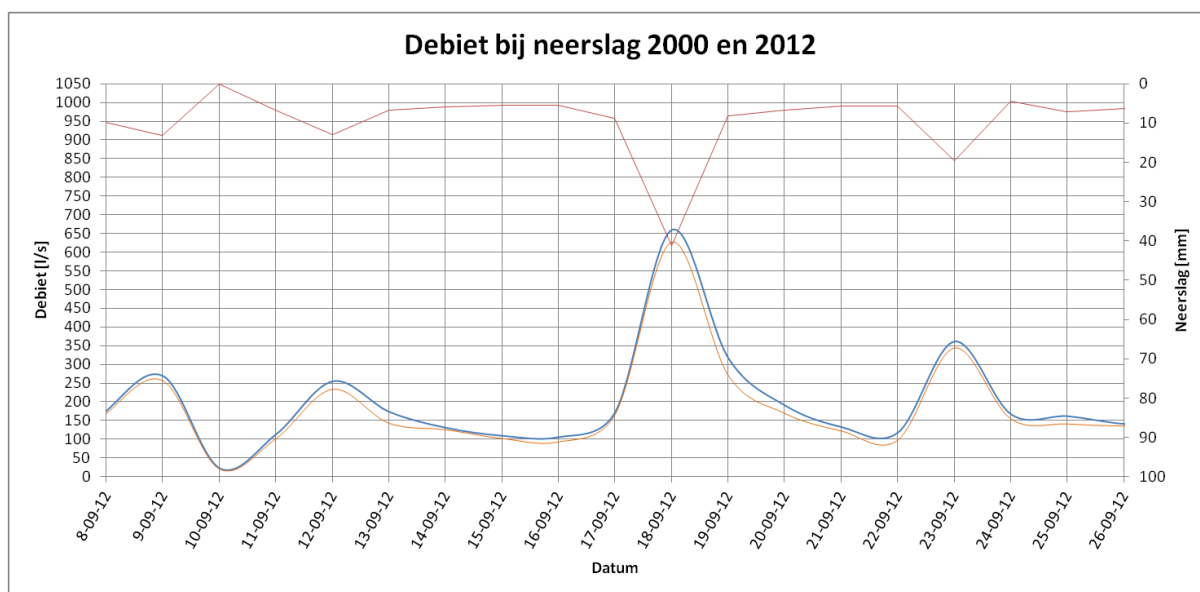
FIGUUR 47. DEBIET MAE PHAEM RIVER 2000. ORANJE: DEBIET, ROOD: NEERSLAG

Op het oog is geen duidelijk verschil op te merken tussen de verschillende debiet (figuur 47). Om hier een beter inzicht op te krijgen zijn in figuur 48 de debieten over elkaar heen gelegd.



FIGUUR 48. DEBIET MAE PHAEM RIVIER 2000 & 2012. BLAUW: DEBIET 2012, ORANJE: DEBIET 2000, ROOD: NEERSLAG

Het zelfde patroon wordt in beide jaren aangehouden in het debietverloop. Echter liggen de debietwaarden uit 2000 lager dan in 2012. Wat te verklaren is doordat er minder bomen zijn die water opnemen en het hemelwater minder wordt geremd door de bomen, waardoor de afstromingen van het water in sommige gebieden is verhoogd.



FIGUUR 49. VERSCHIL DEBIET 2000 EN 2012 (INGEZOOMD). BLAUW: DEBIET 2012, ORANJE: DEBIET 2000

Om het verschil iets duidelijker weer te geven is ingezoomd op een intense bui. Hierop is weer duidelijk te zien dat het debietverloop in beide jaren exact gelijk loopt. De debieten uit 2000 liggen lager. Gemiddeld is er een verschil van 5 l/s tot 50 l/s (bij extreme neerslag → 18 september).

9.8 CONCLUSIES MODEL

Het model heeft een duidelijk inzicht gegeven in de debieten in 2000 en 2012. De ontbossing heeft een redelijk invloed gehad op het debiet van de Mae Phaem rivier. Het verschil hangt sterk af van de intensiteit van de regenbui. De debieten verschillen tussen de 5 l/s tot 200 l/s. Bij intense buien is de (toenemende) ontbossing gevaarlijk. De grotere debieten die ontstaan, verhogen de waterstand. Hierdoor is de kans op overstromingen groter. Tevens

treedt er meer erosie op, waardoor de rivier meer ruimte in gaat nemen in het gebied. Veel landbouw gebruik en wegen lopen langs de Mae Phaem rivier. De hogere debieten door ontbossing, kunnen in de toekomst ervoor zorgen dat stukken landbouwgrond of wegen (gedeeltelijk) weg eroderen.

De grondwaterstromingen die de rivier ook voorzien van water zijn niet meegenomen in het model. Aanbevelen wordt om in de toekomst onderzoek te gaan doen naar de grondwaterstromingen in het gebied. Hierdoor kan een reëlere afvoer van de Mae Phaem rivier worden bepaald, wanneer deze wordt gecombineerd met het afvoermodel.

Het curve number model en de SWAT extensie is een betrouwbaar model in combinatie met elkaar. Rekening gehouden wordt met het verhang van de rivier, verdamping, berging, landgebruik en neerslag. Deze factoren hebben in de werkelijkheid ook de grootste invloed op de rivier. Om het model meer betrouwbaarder te maken moet onderzocht worden hoe de bodemopbouw is in het stroomgebied. Hierdoor kan de exacte berging worden bepaald.

Het model kan gebruikt worden door de dorpsbewoners of de gemeente voor meerdere doeleinden. Het kan gebruikt worden om dorpsbewoners te waarschuwen voor overstromingsgevaar bij hevige neerslag, indien tijdig gekeken wordt wat de weersvoorspellingen zijn. Hierdoor kan eventuele materiële of persoonlijke schade worden voorkomen.

Door de toenemende landbouw in het gebied, wordt de vraag naar water steeds groter om de landbouw gebieden te onderhouden. Met het model en de praktijkmetingen is duidelijk gemaakt bij welke waterstand welk debiet optreedt. Zo kan gekeken worden hoeveel water eruit de Mae Phaem rivier onttrokken kan worden tot de (vastgestelde) minimum waterstand is bereikt. De waterstand moet niet te laag zijn in verband met toenemende concentraties nutriënten die in de Mae Phaem rivier aanwezig zijn.

Aanbevolen wordt om de meteorologische data te blijven verzamelen in het gebied, evenals het gebruik van de Rehbockstuwen. Wanneer een meerjarige dataset wordt opgebouwd, kan het model beter gekalibreerd worden. Hoe meer data er in de toekomst beschikbaar komt, hoe beter het model gekalibreerd kan worden waar uiteindelijk de dorpsbewoners meer mee geholpen kunnen worden.

10 NAWOORD

De ervaring die is opgedaan in Thailand is erg mooi op zowel het vlak van vakgebied als sociaal. De mensen in het dorp waren erg aardig voor ons. Ondanks het communicatieprobleem (ze spreken geen Engels), is er toch een band gecreëerd met de mensen in het speciaal met de kinderen.

De uitdaging bleek groter te zijn dan van voorhand gedacht. Het snel en secuur verzamelen van data heb ik geleerd bij Tauw. Dit spitste zich echter op wadi's of riolering. Het onderzoeken wat een grote waterloop is ingewikkeld en er komen veel factoren bij kijken die ter plekken moeten worden opgelost. Ik ben blij dat er bruikbare data is verzameld en dat het gedrag van de Mae Phaem rivier is vastgesteld.

Het modelleren was misschien nog wel de grootste uitdaging. Vanwege niemand in mijn omgeving de expertise had in dit soort modellen. Hier heeft heel veel tijd, en frustraties, in gezeten. Het model wat er nu staat werkt prima met reële waarde, wat een grote opluchting is.

Ik heb een fantastische tijd gehad in Thailand en heb met plezier alle data uitgewerkt. Ik hoop dat de data gebruikt kan worden voor vervolg onderzoek en om de mensen in Ban Mae Phaem te helpen. De goede tijd is mede te danken aan de mensen met wie ik onderzoek heb gedaan in het gebied inclusief de begeleiders. We zaten toch twee tot drie maanden op elkaars lip, maar is erg goed uitgekapt. Ik ben tevreden met het eindresultaat en wil het onderzoek in de toekomst zeker doorzetten. Hierbij wil ik mij meer focussen op de waterkwaliteit, om de bewoners van Ban Mae Phaem van schoon drinkwater te voorzien.

11 BRONVERMELDING

11.1 BOEKEN, DICTATEN EN DOCUMENTEN

- Andrew Walker, *The Karen Consensus*, Ethnic Politics and Resource-Use Legitimacy in Northern Thailand, Australian National University, September 2010)
- Schlumberger Water Services, *Specifiaction Micro-Diver Sheet*, Nederland, 2014
- Sangchan Limjirakan and Atsamon Limsakul, *Trends in Thailand evaporation from 1970 to 2007*, 18 mei 2011, Atmospheric Research 108(2012) 122-127)
- W. Boiten, A. Dommerholt en M. Soet, *Handboek debietmetingen in open waterlopen*, rapport 51, ISSN: 0926, 230X, januari 1995
- Fred L. Ogden en Trey D. Crouch, *Effect of land cover and use on dry season river runoff, runoff efficiency, and peak storm runoff in het season tropics of Central Panama*, Water Resources Research Volume 49, 17 december 2013
- Soil & Water Assessment Tool, *Theoretical Documentation*, TR-406, 2009
- Auteur onbekend, *Curve Number Method*, Universiteit van Wageningen, Dictaat: 183157, datum onbekend
- Stowa, *Handboek Debietmetingen in waterlopen*, ISBN: 978.90.5773.450.2, 2009, versie: 41
- Tim Huldman, *Interview dorpsbewoners Ban Mae Phaem*, Universiteit van Wageningen, 2014
- Marcel Engelsman, *Vloeistof Mechanica 2*, colleges 2 tot en met 4, Hogeschool van Amsterdam, 2013
- Harry de Brauw, *rapport debietmetingen Egmond aan den Hoef*, Tauw B.V., 2014

11.2 WEBSITES

- www.buffelen.org
- <http://www.dnp.go.th/parkreserve/asp/style1/default.asp?npid=150&lg=2>
- University of Maryland, Department of Geographical Sciences, Hansen, Potov, Moore, www.earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest)
- <http://kartoweb.itc.nl/geometrics/map%20projections/mappro.html>
- <http://socolzahid-en.blogspot.nl/2012/07/bangladesh-transverse-mercator-btm.html>
- <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/>

11.3 FOTOMATERIAAL

- Floris Boogaard, Ban Mae Phaem, 2014
- Eric Kraak, Ban Mae Phaem, 2014
- Floris Harten, Ban Mae Phaem, 2014