

Leven met de Overstromingen 2007



Floor van den Berg van Saparoea
Harry de Brauw
Joost Nelissen
Ruud van der Ent

Voorwoord

Because the country under study is a Dutch speaking country, the decision has been made to write the report in Dutch. For non Dutch speakers, an English summary has been added. For further information on any specific topic, please contact the group.

In mei 2006 is het binnenland van Suriname getroffen door hevige overstromingen. Naar aanleiding hiervan is er in 2006 een initiatief genomen door een groep studenten van de TU Delft om zich in te zetten voor de inwoners van het binnenland. Deze groep heeft een aantal overstroomde dorpen in de binnenlanden van Suriname bezocht. Hier hebben zij een waarschuwingssysteem opgezet, monumenten gebouwd ter herinnering aan de overstromingen en kleinschalige drinkwatervoorzieningen getest. Deze drinkwatervoorzieningen zouden ten tijde van een overstroming toegang kunnen verschaffen tot bacteriologisch betrouwbaar drinkwater.

In september 2007 is aan het project een vervolg gegeven door een nieuwe projectgroep, zij hebben het onderzoek van de eerste groep gecontinueerd en verder uitgebreid. Er zijn drie losstaande onderdelen. In hoofdstuk twee wordt het waarschuwingssysteem uiteengezet. In hoofdstuk drie wordt een onderzoek naar drinkwater besproken. In hoofdstuk vier staat een deel van het vooronderzoek naar mogelijkheden voor microwaterkracht.

Omdat het land waarvoor dit onderzoek verricht is Nederlandstalig is, heeft de projectgroep besloten het rapport in het Nederlands te schrijven. Voor diegene die het Nederlands niet beheersen, is een Engelstalige samenvatting bijgevoegd.

Den Haag, 30 november, 2007

Floor van den Berg van Saparoea
Harry de Brauw
Joost Nelissen
Ruud van der Ent

Samenvatting

Inleiding

In mei 2006 traden vele rivieren en kreek in het binnenland van Suriname buiten hun oevers en werden de bewoners verrast door het water. Ruim 22.000 mensen werden dusdanig getroffen dat hun huizen (tijdelijk) onbewoonbaar waren. Op de meeste plaatsen is de duur van de overstromingen beperkt gebleven tot drie tot zes dagen, daarna is het water snel gezakt. Zwaar getroffen dorpen liggen onder andere in het Boven-Suriname gebied.

Naar aanleiding van de overstromingen hebben studenten van de TU Delft hierop het initiatief genomen om zich in te zetten voor het getroffen gebied. In augustus en september 2006 hebben twee groepen studenten van de TU Delft en de Anton de Kom Universiteit van Suriname het Boven Suriname gebied bezocht. De eerste groep heeft onderzoek gedaan naar de drinkwatersituatie en de tweede groep naar de implementatie van kleinschalige drinkwatervoorziening, de tweede groep heeft zich bezig gehouden met het opzetten van een waarschuwingssysteem. De resultaten hiervan zijn gepubliceerd in "Leven met de Overstromingen, de implementatie van een waarschuwingssysteem in de binnenlanden van Suriname".

In september 2007 is vervolg aan dit onderzoek gegeven door een nieuwe projectgroep van de TU Delft. Wederom is het Boven Suriname gebied bezocht met als doel om het waarschuwingssysteem te verbeteren, zich verder te verdiepen in de drinkwaterproblematiek en onderzoek te doen naar de mogelijkheden van microwaterkracht.

Waarschuwingssysteem

Doordat een vorige overstroming zo lang geleden heeft plaats gevonden hebben veel, voornamelijk jongere, bewoners hun huizen dicht bij de rivier gebouwd. Mede hierdoor is de geleden schade bij de overstroming van mei 2006 extra groot. De bewoners werden 's nachts overrompeld door de snelle stijging van de rivier waardoor hun dorpen onverwacht blank kwamen te staan. Sommige huizen stonden zelfs geheel onder water of werden weggespoeld.

Het uiteindelijke doel van dit deel van het project is om een adequaat waarschuwingssysteem te implementeren, zodat de bewoners langs de Surinamerivier tijdig gewaarschuwd kunnen worden voor overstromingen. Technisch gezien is hiervoor een hydrologisch model nodig die waterstanden kan voorspellen. Voor een dergelijk model zijn veel gegevens van waterstanden en neerslag nodig die verzameld worden langs de rivier in het Boven-Suriname gebied. Doel van dit onderzoek is om met behulp van deze gegevens en aanvullende werkzaamheden een verbetering van het waarschuwingssysteem te maken. Tevens is met de betrokken partijen gewerkt aan de implementatie van een waarschuwingssysteem.

De werkzaamheden in het binnenland bestonden uit het repareren en het herplaatsen van de peillatten die de projectgroep 2006 had geplaatst, het doen van debietmetingen en het bepalen van locaties voor de plaatsing van autografische peilrecorders.

Door het opstellen van afvoer-waterstand relaties is het mogelijk de looptijd van de hoogwatergolf af te schatten. Tevens zijn er waterstandsrelaties tussen dorpen onderling opgesteld. Daarnaast is er een neerslag afvoer model op maandbasis gemaakt.

Deze modellen zijn nog verre van perfect. Het is positief te noemen dat deze onafhankelijke modellen resultaten genereren die in dezelfde orde grootte liggen. De modellen die er nu liggen beschrijven de werkelijkheid echter nog net niet goed genoeg. Wanneer er consistente reeksen zijn van neerslag en waterstanden in de vier bezochte dorpen en debieten bij Pokigron op dagbasis is het mogelijk de modellen te verbeteren. Het plaatsen van autografische peilrecorders bij Kajana en Laduani zou een goede aanvulling zijn op de huidige metingen.

Drinkwater

In het Boven Suriname gebied zijn er verschillende organisaties en overheidsinstellingen die zich inzetten voor verbetering van de drinkwatersituatie. Het resultaat is vaak echter niet toereikend ondanks dat de technische implementatie vaak goed is. De oorzaken hiervan zijn divers, hierdoor zijn er dan ook verschillende mogelijkheden die tot een verbetering zouden kunnen leiden. Hiervoor zijn de verschillende problemen met betrekking tot de drinkwatersituatie eerst globaal geanalyseerd.

Als problemen kunnen genoemd worden, ten eerste, de verschillende natte en droge periodes. De natte periodes leveren troebel rivierwater op en in de droge periodes vallen kreken droog en raken drinkwatertanks leeg. Ten tweede is er een gering bewustzijn van de gezondheidsrisico's met betrekking tot pathogene organismen, waardoor maag- en darmontstekingen niet worden gerelateerd aan het gebruiken van slechte kwaliteit drinkwater. Ten derde is er een gebrek aan onderhoud en beheer van zowel grootschalige als kleinschalige drinkwatervoorzieningen. Ten laatste is er kwikproblematiek ten gevolge van illegale goudwinningen, hiervan is in de ditmaal bezochte dorpen gelukkig nog geen sprake.

Er zijn verschillende methodes voorhanden om op eenvoudige wijze de drinkwaterkwaliteit te verbeteren, rekening houdende met de bovenstaande problemen. Naar aanleiding van de probleemanalyse verdient het aanbeveling om een systeem voor de verbetering van de drinkwaterkwaliteit te 'organiseren' dat weinig tot geen kosten en onderhoud nodig heeft, niet afhankelijk is van een enkel brontype, een begrijpelijke en tot de verbeelding sprekende werking heeft en daarnaast voldoet aan de wensen en behoeften van de mensen die het gaan gebruiken.

Er is een systeem in ontwikkeling dat aan deze eisen zou kunnen voldoen. Verschillende aspecten moeten er nog van uitgewerkt worden zoals: de technische werking (met als doel zuiver en bacteriologisch betrouwbaar drinkwater), de vormgeving (afgestemd op de omgeving waar het systeem geïmplementeerd zou worden), de sociale acceptatie (bereidheid van de mensen om het systeem te

gebruiken ten behoeve van het welzijn) en het lokaal beschikbaar zijn van de verschillende onderdelen van het systeem.

Het onderzoek dat is uitgevoerd in het Boven Suriname gebied is opgedeeld in drie verschillende onderzoeken en/ of experimenten. Het eerste experiment bestond uit een sociaal onderzoek in de verschillende dorpen binnen een dorpencluster. In dit sociale onderzoek is er vooral gekeken naar de manier waarop de binnenlandbewoners met hun 'drink'water omgaan. Hieruit zijn de randvoorwaarden opgemaakt waar het systeem dat momenteel in ontwikkeling is aan zal moeten voldoen opdat de binnenlandbewoners het waarderen en gebruiken en daarmee onnodige ziekte en zelfs sterfte als gevolg van verkeerd drinkwater tegen te gaan. Een tweede experiment betrof het onderzoek naar de werking van UV-desinfectie van water in het gebied. Het derde onderzoek was gebaseerd op het gebruik van DURO-tanks. Deze DURO-tanks, welke gebruikt worden om regenwater op te vangen, staan verdeeld over het dorp, sommige tanks zijn bedoeld voor privé- en andere voor algemeen gebruik. Er is een inventarisatie gemaakt naar de hoeveelheden, de exacte plek en de volumes ervan. Hieruit is opgemaakt, in combinatie met de regengegevens, of er voldoende water opgevangen kan worden om te consumeren. Dit bleek echter niet het geval wat het vermoeden bevestigde dat DURO-tanks geen afdoende oplossing vormen.

Microwaterkracht

Op dit moment is elektriciteit zeer beperkt in tijd en hoeveelheid beschikbaar in de dorpen van het Boven Suriname gebied. Enkele kleine dorpen hebben helemaal niet de beschikking over elektriciteit. Door de Nederlandse overheid wordt basis elektriciteitsvoorziening als cruciaal gezien voor het voltooien van alle millennium development goals.

Microwaterkracht is een van de opties om elektriciteit te voorzien in afgelegen gebieden. Om een fatsoenlijke afweging te kunnen maken tussen microwaterkracht en andere opties, moet bekend zijn wat de voor- en nadelen zijn. Voor alle opties geldt dat bekend moet zijn wat de behoefte is aan elektriciteit, wat voor organisatievormen voor financieel beheer, onderhoud en operationeel gebruik inpasbaar zijn in de locale cultuur en of en wat voor mogelijkheden en behoeftes er bestaan om economische activiteiten te ondernemen met behulp van de geleverde stroom.

Verder geldt specifiek voor de optie microwaterkracht dat bekend moet zijn wat het potentieel is tegen welke prijs, omdat niet zomaar overal een microwaterkrachtcentrale geplaatst kan worden en een groot deel (75 %) van de kosten van microwaterkracht locatieafhankelijk zijn. Hiervoor moeten veel hydrologische en ruimtelijke randvoorwaarden bekend zijn, zoals het hoogteverschil dat benut kan worden, het verloop van de waterafvoer door het jaar heen, de afstand van een locatie tot het dorp en de afstanden binnen de dorpen en de dichtheid van de bewoning.

Er is getracht zoveel mogelijk missende informatie wat betreft ruimtelijke en hydrologische randvoorwaarden aan te vullen, zodat een goede afweging van de voor- en nadelen van microwaterkracht mogelijk is, mits aangevuld met verdere gegevens die buiten dit onderzoek vallen,

zoals de sociale structuur van het gebied en opties om gebaseerd daarop een onderhouds-, beheer- en betaalstructuur op te zetten.

Geconcludeerd kan worden uit de gegeven hydrologische en hydraulische randvoorwaarden dat het mogelijk is om een microwaterkrachtcentrale te bouwen in het Boven Suriname gebied. Tapawatra lijkt de meest voor de hand liggende locatie, gezien de nabijheid van afnemers, maar hydrologisch heeft Gran Dan ook goede mogelijkheden. Er is echter nog zeker een jaar metingen nodig voordat dit met meer zekerheid gesteld kan worden.

Voor het technisch ontwerp zijn er ook nog veel opties en het lijkt erop dat een relatief dure centrale het meest geschikt is voor deze case. Het is verleidelijk zo goedkoop mogelijk te bouwen. Dit is misschien een minder goed idee dan het lijkt door de afgelegen ligging van het gebied en de gebrekkige lokale kennis. Dit samen zorgt bij het minste of geringste probleem aan een goedkope, onderhoudsgevoelige centrale voor lange tijden zonder stroom. Het loont de moeite om te investeren in een degelijke, robuuste centrale.

Verder is er over de vele niet technische zaken nog zeer weinig tot niks bekend. Het blijkt dat de economische zaken, met als belangrijkste de tariefstelling, bezettingsgraad en de sociale zaken, zoals onderhoud en acceptatie vaak belangrijker zijn voor het succes van een microwaterkrachtcentrale.

Ten slotte als alle gegevens bekend zijn, moet een afweging gemaakt worden tegenover andere energievoorzieningen. Misschien is het wel gunstiger om het aanwezige netwerk te verbeteren en de bevolking voor de diesel voor de aanwezige dieselgeneratoren een klein bedrag te laten betalen.

Summary

Introduction

In May 2006 many rivers and creeks in the interior of Suriname caused flooding and a lot of inhabitants were surprised by the water. Over 22,000 people were struck in a way that their houses were (temporarily) uninhabitable. In the most places the duration of the flooding was limited to three to six days, after that the waterlevel quickly dropped. Heavily struck villages were amongst others situated in the Upper-Suriname area.

As a result of the flooding students of the TU Delft took the initiative to help the people in the interior. In August and September 2006 two groups of students of the TU Delft en de Anton de Kom University van Suriname visited the Upper-Suriname area. The first group did research regarding the drinking water situation and the second group did research regarding the implementation of an early warning system. The results of this research are published in “Leven met de Overstromingen, de implementatie van een waarschuwingssysteem in de binnenlanden van Suriname”.

In September 2007 a follow up on this research has been undertaken by a new project group of the TU Delft. Once more the Upper-Suriname area has been visited with the goal of improving the warning system, do more research to the drinking water situation and to investigate the possibilities of micro hydro power.

Warning system

Because the last flooding happened such a long time ago a lot, people have been building their houses closer to the river, especially younger people. Therefore the damage caused by the flooding of May 2006 was extra large. The people were surprised by the fast raising water which caused flooding. Some of the houses even were totally under water or were washed away.

The eventual goal of this part of the project is to implement an adequate warning system in a way that the inhabitants along the river Suriname can be warned in time for a flooding event. The technique behind such a system is a hydrological model to predict water levels. For such a model a lot of data of water levels and precipitation in the Upper-Suriname area is needed. Goal of this research is to make an improvement of the warning model with the use of this data and supplementary work in the area itself. Furthermore there has been worked together with the stakeholders on the implementation of a warning system.

The work in the interior consisted of the repairing en replacement of the staff gauges which were placed by the project group 2006, doing discharge measurement en the determination of a location for autographic water level recorders.

By making discharge-water level relations it is possible to estimate the velocity of the flood wave. Also water level relations between villages have been determined. Besides this a rainfall runoff model on a monthly scale is made.

These models are far from perfect. Although it is a positive thing that two independent models generate result which are in the same order of magnitude. These models are however not yet good enough. When there are consistent data series of rainfall and water levels in the four visited villages and discharges at Pokigron all on a daily scale it will be possible to improve the models. The placing of autographic water level recorders can be a good addition to the present measurements.

Drinking water

In the Upper-Suriname area various organizations and governmental institutions are trying to improve the drinking water situation. The results however are mostly not sufficient despite the fact that the technical implementation is often good. The causes for this can be several, accordingly there are also a lot of different options that can lead to improvement. Therefore the various problems regarding the drinking water situation are analysed.

The first problem is the different wet and dry periods. The wet periods result in turbid river water and the dry periods cause the creeks and the DURO-tanks to run dry. Secondly there is only a little awareness of the health risks with regard to pathogen organisms. As a result of that stomach and intestine inflammations are not related to the bad quality of the drinking water. Thirdly there is a lack of maintenance and management of the large scale as well as the small scale drinking water facilities. Lastly there are the problems with mercury in the water as a result of illegal gold mining; luckily this is not the case yet in the visited area.

There are several methods available to easily improve the drinking water quality, taking into account all the problems mentioned above. It is advised to 'organize' a system for the improvement of the drinking water quality that has little costs, needs only little maintenance, does not rely on a single source type, has understandable functioning and fulfils the desires and needs of the people that will use it.

There is a system in development that could fulfil these demands. Different aspects of this system still need to be worked out such as: the technicalities (with as goal purified and bacteriological reliable drinking water), the design (adapted to the environment of implementation), social acceptance (willingness of the people to use the system) and the local availability of the different parts of the system.

The research which has been done in the Upper-Suriname area consisted of three different parts and experiments. The first experiment consisted of the social research in several villages within in village cluster. In this social the main focus was the way people of the interior use their 'drinking' water. From this boundary conditions can be derived for the system that is currently in development. A second experiment was the research to the working of UV-disinfection of water in the area. The third experiment was based on the use of DURO-tanks. These DURO-tanks, which are being used to collect

rain water are distributed along the village, some tanks are meant for private and others for public use. Calculations have been made the numbers, the exact location and the volumes of the DURO-tanks. With a simulation of rainfall and wateruse whether there is enough water for consumption throughout the year. This was however not the case, which confirmed the supposition that DURO-tanks are not a soundly solution.

Micro hydro power

At this moment electricity is hardly available in time as well as quantity in the villages of the Upper-Suriname area. Some small villages do not have electricity facilities at all. The Dutch government sees basic electricity facilities as crucial for the reaching of all the millennium development goals.

Micro hydro power is one of the possibilities to supply electricity in remote areas. To make a decent consideration between micro hydro power and other options, one has to know all the pros and cons. To make a good decision there are several things one needs to know, the demand for electricity, the organization for the financial management, which kind of maintenance and operational management can fit in the culture and the possibilities and desires to undertake economic activities with the supplied power.

More specific for micro hydro power one has to know what energy potential is available against which price, because one cannot just place a micro hydro power installation just anywhere and a large part of the costs (75%) depend on the chosen location. There one needs to know all the hydrological and spatial limiting conditions, such as the head drop and the discharge throughout the year, the distance to the village en the distance within the villages and the population density.

As much missing information concerning the spatial and hydrological limiting conditions has been added in such a way that a good consideration of the pros and cons can be made, if completed with other information beyond the scope of this research, such as the social structure of the area and options based on that to set up a maintenance, management and financial structure.

Concluded from the known hydrological and hydraulical limiting conditions it is very well possible to build a micro hydro power installation in the Upper-Suriname area. Tapawatra seems to be the most logical option, bearing in mind the vicinity of the villages, but in a hydrological sense also Gran Dan offers good possibilities. A year of measurements is however required before this can be said with more certainty.

For the technical design there are also a lot of options and it seems to be the case that a relatively expensive installation is most suitable for this case. It is of course tempting to build as cheap as possible, but this is perhaps less so than it seems, bearing in mind the remoteness of the area and the lacking local knowledge. In case there is a small problem to the cheap maintenance sensitive installation, this would already result in long downtime. It pays off to invest in a reliable, robust installation.

Furthermore there is little known about the many non-technical issues. It seems that the economical system, with the most important things the rate of the electricity, load factor and social problems, such as maintenance and acceptance are often much more important for the success of a micro hydro power installation than are the technical issues.

Finally when all information is known, one has to make a consideration over all other possible power sources. Perhaps it is more profitable to improve the current diesel powered network and let the people pay a small amount for the diesel and maintenance.

Inhoud

VOORWOORD.....	1
SAMENVATTING	3
SUMMARY	7
INHOUD.....	11
2 INLEIDING.....	15
2.1 AANLEIDING ONDERZOEK	16
2.2 NEERSLAG	17
2.3 PROJECTGEBIED	17
3 WAARSCHUWINGSSYSTEEM.....	19
3.1 INLEIDING	19
3.2 PROBLEEMSTELLING	20
3.3 DOELSTELLING	20
3.4 WERKZAAMHEDEN PROJECTGROEP “LEVEN MET DE OVERSTROMINGEN 2006”	21
3.5 WERKWIJZE	21
3.5.1 Verzamelen van bestaande gegevens.....	21
3.5.2 Veldwerk	22
3.5.3 Waarschuwingssysteem	22
3.5.4 Neerslag – afvoer model.....	23
3.5.5 Afspraken.....	23
3.5.6 Terugkoppeling	23
3.6 VERZAMELEN VAN BESTAANDE GEGEVENS	23
3.6.1 Waterstandgegevens van de vorig jaar geplaatste peillatten.....	23
3.6.2 Neerslag in het Boven Suriname gebied	25
3.6.3 Maand gemiddelde debieten in de Suriname rivier	25
3.6.4 Debiet metingen bij Pokigron	25
3.6.5 Waterstanden door Mets gemeten bij Awarradam.....	25
3.6.6 Digitaal terrein model.....	25
3.7 VELDWERK.....	26
3.7.1 Repareren en herplaatsen van de peillatten.....	26
3.7.1.1 Kajana	27
3.7.1.2 Djoemoe.....	27
3.7.1.3 Botopasi	27
3.7.1.4 Laduani.....	28
3.7.2 Verhangmetingen	28
3.7.3 Snelheidsmetingen.....	29
3.7.3.1 Floats.....	30
3.7.4 Plaatsbepaling van autografische peilrecorders.....	32

3.7.4.1	Autografische peilrecorder	33
3.7.4.2	Plaatsbepaling in Kajana	34
3.7.4.3	Plaatsbepaling in Laduani.....	34
3.8	WAARSCHUWINGSMODEL.....	35
3.8.1	<i>Snelheid Oppervlakte methode</i>	35
3.8.2	<i>Bepaling van het verhang</i>	36
3.8.2.1	Simplified slope area method	36
3.8.2.2	Maken Digitaal Hoogte Model en koppelen aan Digitaal Terrein Model	37
3.8.2.3	Verhang uit Digitaal Terrein Model en Digitaal Hoogte Model.....	37
3.8.3	<i>Ruwheidscoëfficiënt bepalen met behulp van verhang oppervlakte methode</i>	39
3.8.4	<i>Opstellen van Q–h kromme per dorp</i>	41
3.8.5	<i>Voortplantingssnelheid hoogwatergolf</i>	44
3.8.6	<i>Waterstandsrelaties</i>	46
3.8.6.1	Methodes.....	46
3.8.6.2	Dagelijkse waarnemingen	46
3.8.6.3	Theoretische relatie waterstanden	47
3.8.6.4	Resultaten	48
3.8.7	<i>Neerslag – afvoer model</i>	51
1.1.1.1	Input data.....	51
3.8.7.1	Beschrijving model.....	53
3.8.7.2	Resultaat	55
3.8.7.3	Simulatie 2006 en 2007.....	57
3.9	AFSPRAKEN	58
3.10	TERUGKOPPELING	59
3.11	CONCLUSIE	59
3.12	AANBEVELINGEN	59
4	DRINKWATER	61
4.1	INLEIDING	61
4.1.1	<i>Drinkwater situatie in de wereld</i>	61
4.1.2	<i>Drinkwater situatie in Suriname</i>	61
4.2	PROBLEEMANALYSE	63
4.3	PROBLEEMSTELLING	63
4.3.1	<i>Methoden van onderzoek</i>	64
4.4	HET BINNENLAND	64
4.4.1	<i>Inleiding</i>	64
4.4.2	<i>Geografie en demografie</i>	65
4.4.2.1	Regengegevens	65
4.4.2.2	Zonintensiteitgegevens.....	66
4.4.3	<i>Drinkwatersituatie in de dorpen</i>	66
4.4.3.1	Kajana	67
4.4.3.2	Djoemoe.....	70
4.4.3.3	Botopasi	72
4.4.3.4	Laduani.....	73
4.4.3.5	Conclusie veldwerk	74
4.5	OMSCHRIJVING SYSTEEM	75
4.5.1	<i>Theorie UV-desinfectie’^{en}</i>	77

4.5.2	UV-dose'	79
4.5.3	Het UV-inactiveringsmechanisme'	81
4.5.4	Pathogene organismen	81
4.6	EXPERIMENT	83
4.6.1	Inleiding	83
4.6.2	Benodigdheden	83
4.6.3	Omstandigheden	84
4.6.4	Werkwijze	84
4.6.5	Resultaten	86
4.6.6	Discussie	88
4.6.7	Conclusie experiment	90
4.7	INVENTARISATIE GPS	91
4.8	BESCHIKBAARHEID REGENWATER	96
4.9	CONCLUSIE	101
5	VOORONDERZOEK MICROWATERKRACHT	103
5.1	SITUATIEBESCHRIJVING	103
5.2	PROBLEEMBESCHRIJVING	104
5.3	DOELSTELLING	105
5.4	ANALYSE	105
5.4.1	Wat is een microwaterkrachtcentrale?	105
5.4.2	Hoe ziet een microwaterkrachtcentrale eruit?	106
5.4.3	Werkingsprincipe	107
5.4.4	Overige factoren	108
5.5	MICROWATERKRACHT IN HET BOVEN SURINAME GEBIED	110
5.5.1	Gran Dan	112
5.5.1.1	Hydrologische mogelijkheden	112
5.5.2	Tapawatra	116
5.5.2.1	Hydrologische mogelijkheden	116
5.6	CONCLUSIE	124
5.7	DISCUSSIE	125
5.8	AANBEVELINGEN	125
6	BRONNEN	126
	BIJLAGE A: BEREKENING WAARSCHUWINGSMODEL	130
	BIJLAGE B: DWARSPROFIELEN DORPEN	134
	BIJLAGE C: DEBIET – HOOGTE RELATIES DORPEN	136
	BIJLAGE D: SNELHEID – HOOGTE RELATIES DORPEN	140
	BIJLAGE E: MUSKINGUM METHODE	142
	BIJLAGE F: INPUT DATA NEERSLAG – AFVOER MODEL	146
	BIJLAGE G: FORMULIEREN BINNENLAND	148
	BIJLAGE H: DEMOGRAFIE IN BOVEN SURINAME GEBIED	154

BIJLAGE I: DORPENCLUSTERS BOVEN SURINAME GEBIED	158
BIJLAGE J: DRINKWATERSITUATIE BOVEN SURINAME GEBIED IN CIJFERS	162
BIJLAGE K: CONTACTGEGEVENS	164

2 Inleiding

De Republiek Suriname, 163.820 km² groot, ligt aan de noordoostkust van Zuid-Amerika en heeft ongeveer 500.000 inwoners. De meesten van hen wonen in de steden in het noorden van het land. Zij zijn voornamelijk afkomstig uit vijf etnische groepen: Hindoestanen, Creolen, Javanen, Bosnegers en Chinezen. De laatste is groeiende. De bosnegers zijn de voornaamste bewoners van de dunbevolkte binnenlanden. Zij zijn aanhangers van onder andere de Winti religie, een natuurgodsdienst.

Suriname kent vier grote rivieren die zuid - noord georiënteerd zijn: de Commewijne Rivier, de Suriname Rivier, de Coppename rivier en de Nickerie rivier. Deze ontspringen in het bergachtige zuiden, stromen door het glooiende beboste middenland om vervolgens na het moerassige kustgebied in de Atlantische oceaan uit te monden. Het rurale leven bevindt zich voornamelijk langs deze rivieren. Ongeveer 80% van Suriname bestaat uit tropisch regenwoud met een zeer hoog vochtigheid gehalte, dit behoort tot het Amazone regenwoud. Een savanne-, moesson- en tropisch regenwoudklimaat kunnen onderscheiden worden in de Surinaamse tropische klimaatzone, deze verschillen van elkaar in de neerslaghoeveelheid en verdeling. In Suriname spreekt men van vier seizoenen per jaar, deze hebben een zekere spreiding in de tijd. De temperatuur kan hierbij variëren van 24 tot 32 °C. Globaal zijn deze seizoenen verdeeld in:

- Kleine regentijd, eerste helft december tot tweede helft januari.
- Kleine drogetijd, tweede helft januari tot tweede helft maart.
- Grote regentijd, tweede helft maart tot eerste helft augustus.
- Grote drogetijd, eerste helft augustus tot eerste helft december.



Figuur 1 Kaart van Suriname met de grote rivieren

2.1 Aanleiding onderzoek

In mei 2006 zijn de rivieren in het binnenland buiten hun oevers getreden en werden de bewoners verrast door het water. Ruim 22.000 mensen werden dusdanig getroffen dat hun huizen (tijdelijk) onbewoonbaar waren. Op de meeste plaatsen is de duur van de overstromingen beperkt gebleven tot drie tot zes dagen, daarna is het water snel gezakt. De dorpen die het zwaarst zijn getroffen door de overstromingen, liggen langs de Suriname-rivier, ten zuiden van het stuwmeer.¹

Studenten van de TU Delft hebben hierop het initiatief genomen om zich in te zetten voor het getroffen gebied. In september en oktober 2006 hebben twee groepen studenten van de TU Delft en de Anton de Kom Universiteit van Suriname het Boven Suriname gebied bezocht. Een groep heeft onderzoek gedaan naar drinkwater, de tweede groep heeft zich bezig gehouden met het opzetten van een waarschuwingsmodel. De resultaten hiervan zijn gepubliceerd in "Leven met de Overstromingen, de implementatie van een waarschuwingssysteem in de binnenlanden van Suriname".

In 2007 is vervolg aan dit onderzoek gegeven door een nieuwe projectgroep van de TU Delft. Wederom is het Boven Suriname gebied bezocht met als doel om het waarschuwingsmodel te verbeteren, zich verder te verdiepen in de drinkwaterproblematiek en onderzoek te doen naar de mogelijkheden van microwaterkracht.

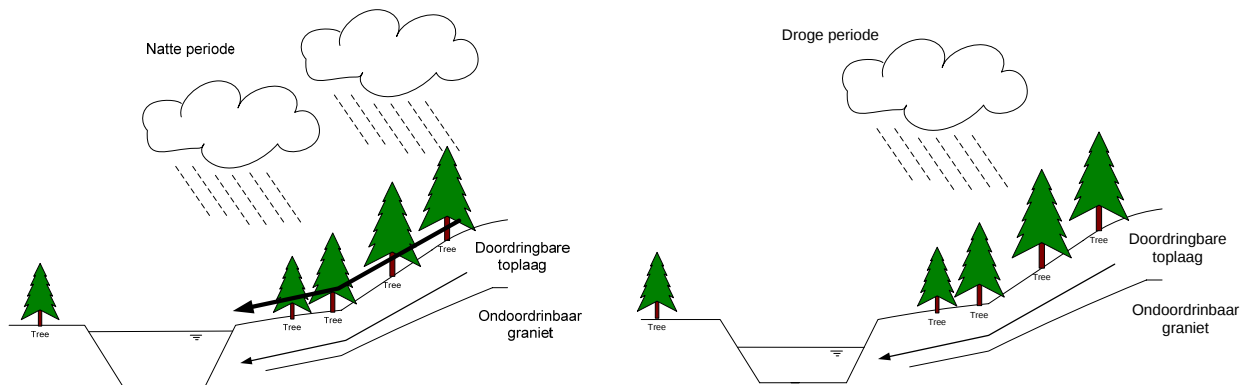


Figuur 2 Kaart met de overstroomde gebieden tijdens de overstromingen van mei 2006

¹ Leven met de overstromingen, Projectgroep Suriname 2006

2.2 Neerslag

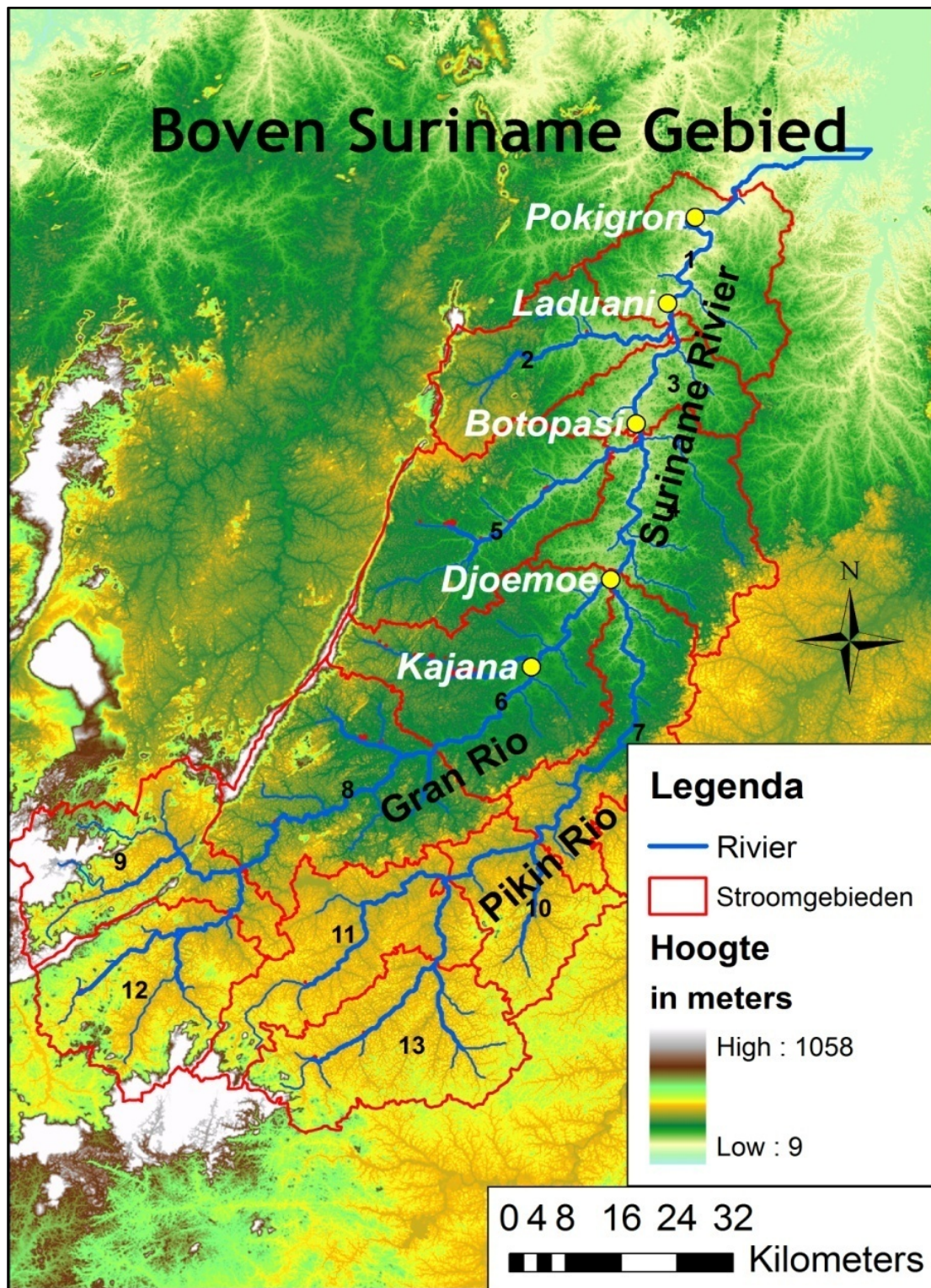
De Suriname rivier heeft een stroomgebied van 16.500 km² en een gemiddelde afvoerwaarde van 422 m³/s. In de droge periode zal het regenwater doordringen in de grond waarna het als oppervlakkig grondwater afstroomt naar de rivier, zie figuur 3. In de regenperiode kan het dagelijks gedurende zeer lang tijd hard regenen. De grond raakt hierdoor volledig verzadigt waardoor er veel regenwater via het oppervlak tot afstroming komt. Dit regenwater wat via het oppervlak tot afstroming komt bevat zeer veel sediment en andere deeltjes die de rivier instromen en de troebelheid van het rivierwater ernstig doen verhogen.



Figuur 3 Afstroming regenwater in natte en droge periode

2.3 Projectgebied

Gedurende drie weken is veldwerk verricht in het Boven-Suriname gebied. De dorpenclusters Kajana, Djoemoe, Botopasi en Laduani zijn hierbij bezocht, zie figuur 4. Verder staan de deelstroomgebieden van de Boven Suriname rivier en de loop van de rivier in deze figuur.



Figuur 4 Stroomgebied Boven Suriname rivier, bron hoogtegegevens: SRTM satellietgegevens.

3 Waarschuwingssysteem

3.1 Inleiding

Het klimaat van Suriname wordt gekenmerkt door droge en natte periodes met de daarbij voor de tropen zo kenmerkende neerslag. De bewoners van Suriname zijn dus gewend aan het leven met hevige neerslag. De overstromingen van mei 2006 in de binnenlanden kwamen echter vrijwel onverwacht. In het verleden waren er wel overstromingen geweest maar zo lang geleden dat men dit vergeten was. In de eerste dagen na de overstroming werden berichten van de ramp in Paramaribo dan ook niet serieus genomen totdat er beelden op televisie verschenen. Er werd gesproken van een overstroming met een herhalingskans van 25-75 jaar.²

Dorpen bescherming bieden met dijken is niet een reële opgave in het dun bevolkte veraf gelegen binnenland. Een adequaat waarschuwingssysteem zou de dorpelingen genoeg tijd kunnen bieden om zichzelf en belangrijke zaken voor een overstroming in veiligheid te brengen.

De opbouw van deze module is als volgt:

- Probleemstelling
- Doelstelling
- Werkzaamheden projectgroep “leven met de overstromingen 2006”
- Werkwijze
- Verzamelen van gegevens
- Veldwerk
- Waarschuwingssysteem
- Afspraken
- Terugkoppeling
- Conclusie
- Aanbevelingen

² Brinke, W., Botterweg, Overstroming Suriname 2006

3.2 Probleemstelling

Doordat een vorige overstroming zo lang geleden heeft plaats gevonden hebben veel, voornamelijk jongere, bewoners hun huizen dicht bij de rivier gebouwd. Mede hierdoor is de geleden schade bij de overstroming van mei 2006 extra groot. De bewoners werden 's nachts overrompeld door de snelle stijging van de rivier waardoor hun dorpen blank kwamen te staan. Sommige huizen stonden zelfs geheel onder water of werden weggespoeld. Een waarschuwingssysteem voor overstromingen zou de binnenlandbewoners hierbij uitkomst kunnen bieden. Tot nu toe is een dergelijk waarschuwingssysteem nog niet geïmplementeerd.

3.3 Doelstelling

Het uiteindelijke doel van dit deel van het project is om een werkend waarschuwingssysteem te maken zodat de bewoners langs de Suriname rivier tijdig gewaarschuwd kunnen worden voor overstromingen. Technisch gezien is hiervoor een hydrologisch model nodig die waterstanden kan voorspellen. Voor een dergelijk model zijn veel gegevens van waterstanden en neerslag nodig die verzameld worden langs de rivier in het Boven-Suriname gebied. De nu beschikbare gegevens zijn niet voldoende om een adequaat model op te stellen. Doel van dit onderzoek is om met behulp van deze gegevens en aanvullende werkzaamheden een verdere opzet voor een waarschuwingssysteem te maken. Tevens wordt met de betrokken partijen gewerkt aan de implementatie van een waarschuwingssysteem.

3.4 Werkzaamheden projectgroep “Leven met de Overstromingen 2006”

De projectgroep “Leven met de Overstromingen 2006” heeft tijdens hun verblijf in het Boven Suriname gebied de eerste werkzaamheden verricht voor het opzetten van een waarschuwingssysteem. Hun werkzaamheden bestonden uit:

- Het plaatsen van peillatten bij de dorpen.
- Het maken van afspraken over het aflezen van de peillatten.
- Het inmeten van dwarsprofielen op verschillende locaties in het Boven Suriname gebied. Bij de bezochte dorpen is dit onder andere gebeurd ter hoogte van de geplaatste peillatten. Met behulp van een drukmeter en een waterpasinstrument is het dwarsprofiel nauwkeurig gemeten.
- De metingen zijn gebruikt om in combinatie met de Strickler formule een Q-h kromme te af te leiden, probleem hierbij was het onbekende verhang en een onbekende ruwheidcoëfficiënt. Destijds was er alleen oud kaartmateriaal van 1 : 100.000 beschikbaar waardoor geen nauwkeurig verhang bepaald kon worden, deze werd geschat op 10^{-3} . De ruwheidcoëfficiënt werd geschat op $20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ voor de rivier en $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ voor de oevers.
- Het bewustzijn van de bewoners over het gevaar van overstromingen vergroten, onder andere door het plaatsen van monumenten op het niveau van de hoogste waterstand tijdens de overstromingen.
- Het opzetten van een eenvoudig waarschuwingssysteem zodat de dorpen elkaar kunnen waarschuwen voor overstromingen.
- Een inventarisatie opstellen van de maatregelen die getroffen moeten worden om bij overstromingen het verlies van waardevolle goederen te beperken en bewoners tijdig te evacueren.

3.5 Werkwijze

Voor de realisatie van de doelstellingen zullen metingen van de projectgroep 2006 gebruikt worden in combinatie met nieuwe metingen. Daarnaast zal er informatie van derden verzameld worden.

3.5.1 Verzamelen van bestaande gegevens

Door tal van instituten, personen en overheid zijn in de afgelopen decennia (vanaf 1969) metingen in het Boven Suriname gebied gedaan. De bekende metingen zijn:

- Waterstandgegevens van de in 2006 geplaatste peillatten.
- Neerslag in het Boven Suriname gebied gemeten door de Meteorologische dienst, maandgemiddelden in de periode 1955 – 1986, dagwaarden van 2006 en 2007.

- Maand gemiddelde debieten in de Suriname rivier gemeten door de Waterloopkundige afdeling bij Pokigron in de period 1952 – 1985
- Debiet metingen bij Pokigron uitgevoerd door Suralco in het laatste decennium.
- Waterstanden door Mets gemeten bij Awarredam sinds juni 2006.
- Digitaal terrein model van het Boven Suriname gebied.

3.5.2 Veldwerk

De werkzaamheden in het binnenland bestaan uit:

- Repareren en herplaatsen van de peillatten. De projectgroep 2006 heeft bij de dorpen Kajana, Djoemoe, Botopasi en Laduani peillatten geplaatst opdat deze dagelijks afgelezen kunnen worden. Indien de stijging en daling van het water op al deze plaatsen dagelijks bekend is geeft dit een goede opzet voor een degelijk hydrologisch waarschuwingsmodel. Door tal van redenen zijn deze peillatten na één jaar beschadigd of verdwenen. Deze zullen gerepareerd of herplaatst worden.
- Het lokale verhang proberen op te meten bij de door de projectgroep 2006 ingemeten dwarsdoorsneden.
- De stroomsnelheid meten bij de ingemeten dwarsprofielen.
- Bepalen van locaties voor de plaatsing van een autografische peilrecorder in de dorpen Kajana en Laduani. Het afgelopen jaar is gebleken dat er niet volledig vertrouwd kan worden op het aflezen van de peillatten in het binnenland. Om de gegevensreeks te verbeteren zou een autografische peilrecorder zou een goede aanvulling zijn. Een goede opstelling is één bovenstrooms in Kajana en één benedenstrooms in Laduani.

3.5.3 Waarschuwingsmodel

De Q-h krommen die door de projectgroep 2006 zijn ontworpen, zijn gebaseerd op een aantal aannames die verbeterd kunnen worden. De volgende stappen zullen hiervoor gezet worden:

- Digitaal hoogte model van het Boven Suriname gebied maken met behulp van SRTM data.
- Vaststellen van het verhang aan de hand van het digitaal terrein- en hoogte model.
- Vaststellen van het debiet aan de hand van de gemeten snelheid en oppervlakte van het dwarsprofiel.
- Berekenen van de ruwheidcoëfficiënt met de formule van Strickler.
- Ontwerpen van de Q-h krommen met de formule van Strickler.
- De looptijd van een hoogwatergolf wordt bepaald aan de hand van de v-h relaties
- Uit de Q-h relaties per dorp kunnen de h-h relaties tussen de dorpen vastgesteld worden.

3.5.4 Neerslag – afvoer model

Naast een systeem waarbij dorpen elkaar onderling waarschuwen is het ook interessant om te kijken naar een systeem waarbij alle dorpen gewaarschuwd kunnen worden op basis van neerslagdata. Hiervoor zal een neerslag – afvoer model opgesteld worden.

3.5.5 Afspraken

Maken van goede afspraken over gegevensverzameling met de betrokken personen. Het proces van dagelijks aflezen van de waterstanden tot en met het opslaan van de gegevens in Paramaribo is geen makkelijke zaak gebleken. Het afgelopen jaar heeft het systeem niet goed gefunctioneerd waardoor er weinig metingen gedaan zijn. Door meer overleg en goede afspraken met de betrokken personen en organisaties kan de continuïteit van de metingen verbeterd worden.

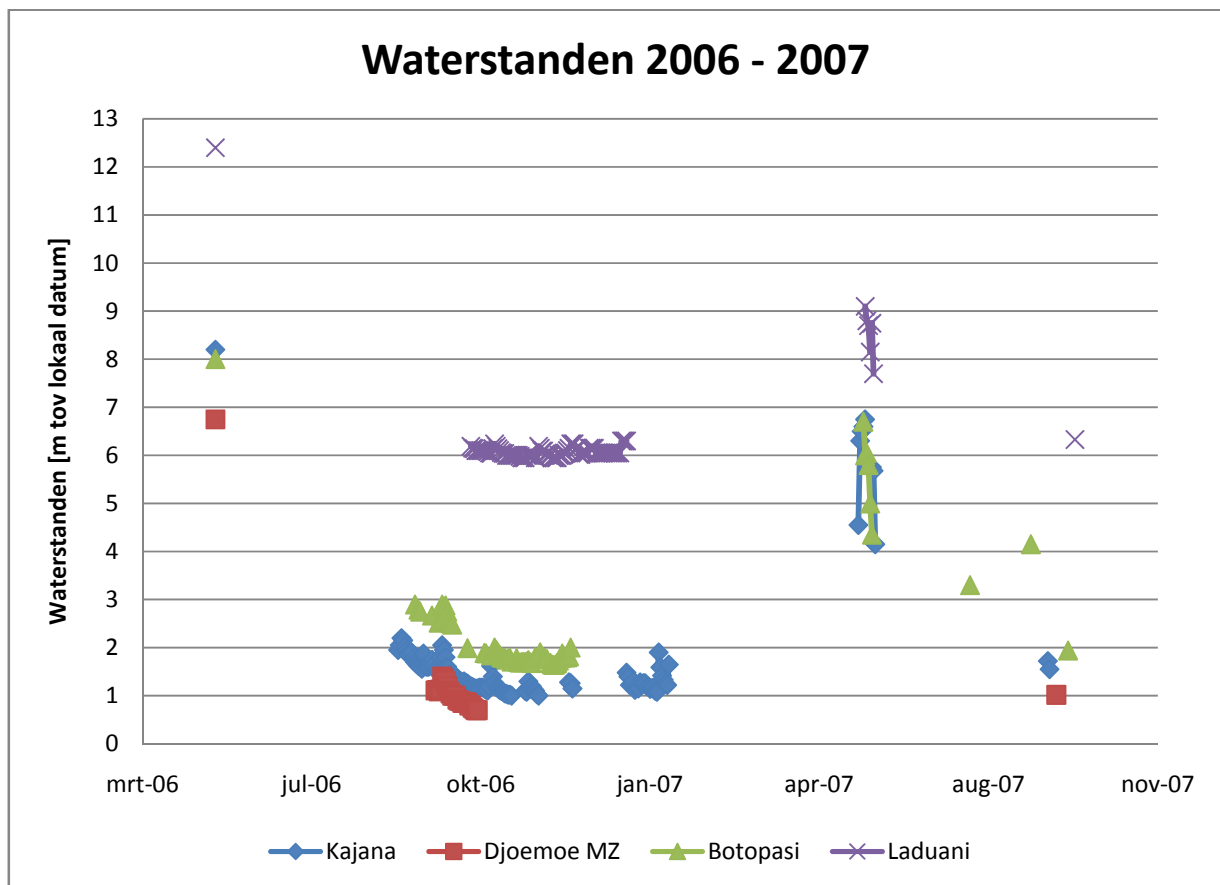
3.5.6 Terugkoppeling

Maken van sheets met de belangrijkste informatie over de peillatten zodat toekomstige onderzoekers de informatie die nu verzameld wordt ook kunnen gebruiken. De sheets moeten op de belangrijkste locaties komen te liggen zoals de Waterloopkundige afdeling en de vliegvelden van de dorpen. Verder worden er sheets gemaakt die aangeven wat een gevaarlijke waterstand is, vorig jaar is dit ook gebeurd, maar deze formulieren waren op de verkeerde plek terecht gekomen.

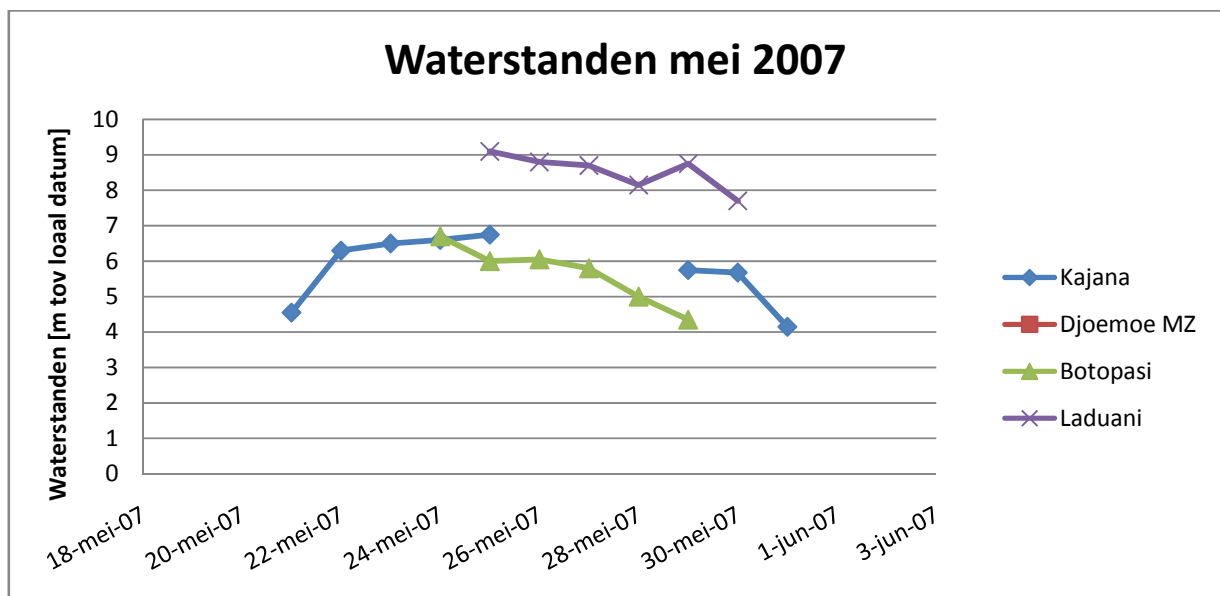
3.6 Verzamelen van bestaande gegevens

3.6.1 Waterstandgegevens van de vorig jaar geplaatste peillatten

Bij het opstarten van dit vervolg project is er geïnformeerd naar het aflezen van de peillatten waarop positief gereageerd werd. Na aankomst in Suriname bleek echter dat de peillatten gedurende het afgelopen jaar nauwelijks afgelezen zijn. De waarden die wel gemeten zijn, zijn in elk dorp vaak in een andere maand gemeten. Zie figuur 5 voor alle bekende waterstanden. Hierdoor kunnen de reeksen nauwelijks met elkaar vergeleken worden. Volgens afspraak waren een groot deel van de wel gemeten waarden doorgegeven aan vliegveld Zorg en Hoop in Paramaribo. In het binnenland bleek bij het nakijken van de waterstands logboeken van de lokale vliegvelden dat niet alle gegevens waren doorgegeven. Toen het water in mei 2007 weer een hoog niveau bereikte stonden er weer een aantal metingen in de logboeken die niet waren doorgegeven aan Paramaribo. Zie hiervoor figuur 6.



Figuur 5 Alle gemeten waterstanden van de Boven Suriname rivier in 2006 en 2007



Figuur 6 Gemeten waterstanden van de Boven Suriname rivier in mei 2007

3.6.2 Neerslag in het Boven Suriname gebied

Bij de vliegvelden in het Boven Suriname gebied: Kajana, Djoemoe, Botopasi en Laduani worden dagelijks metingen van de neerslag gedaan door de stationschefs. De gegevens worden doorgegeven aan het vliegveld Zorg en Hoop en eindigen bij de Meteorologische dienst die de verantwoordelijkheid draagt. Van de jaren 1955 tot 1986 zijn de maandgemiddelden bekend bij Djoemoe en Pokigron. Van het jaar 2006 en 2007 zijn de daggegevens van Kajana, Djoemoe, Botopasi en Laduani opgevraagd. Bij deze daggegevens mist er vaak data. Het is echter niet te achterhalen of dit betekent dat het niet is afgetapt, of wel afgetapt maar niet is doorgegeven.

3.6.3 Maand gemiddelde debieten in de Suriname rivier

In de jaren 1952 tot 1985 werd door de Waterloopkundige afdeling bij Pokigron de afvoer van de Suriname rivier gemeten. De maandgemiddelden van deze gegevens zijn bekend. De afvoeren werden gemeten door de waterstand te meten en om te rekenen naar een debiet aan de hand van een bekende Q-h kromme.

3.6.4 Debiet metingen bij Pokigron

Suralco, een dochter van Alcoa, is het Surinaamse aluminium bedrijf met een aluminium fabriek aan het Brokopondo meer. Dit meer is in 1964 ontstaan door de bouw van de Afobaka stuwdam door Suralco waar met generatoren de benodigde energie voor de fabriek opgewekt wordt. Suralco heeft veel baat bij het monitoren van de instroom in het meer om zo de waterstanden in het meer te kunnen voorspellen. Het bedrijf meet daarom de instroom in het meer bij Pokigron. Helaas is het niet gelukt deze gegevens te achterhalen. Tevens zou deze reeks ook niet volledig en consistent zijn.

3.6.5 Waterstanden door Mets gemeten bij Awarradam

Sinds februari 2007 is de touroperator Mets begonnen met het meten van waterstanden bij het resort Awarradam, gelegen bovenstrooms van Kajana. De gegevens worden tweemaal daags afgelezen, per formulier naar hun kantoor op vliegveld Zorg en Hoop gestuurd vanwaar het naar de heer Naipal op de Anton de Kom Universiteit van Suriname wordt gestuurd. De gemeten gegevensreeks is momenteel nog kort door het wegspoelen van een peilpat in maart 2007. In juli 2007 is men weer begonnen met aflezen.

3.6.6 Digitaal terrein model

Het digitaal terrein model van het Boven Suriname Gebied, Kalpoe 2007, is ontworpen aan de hand van stereoparen van luchtfoto's. Dit in Autocad ontworpen model is omgezet naar een digitaal terrein model in ARCGIS en vergeleken een digitaal hoogte model op basis van SRTM satellietdata. Het digitaal terrein model is gebaseerd op hoogtelijnen en op deze hoogtelijnen nauwkeurig op 30 cm. Het digitaal hoogte model is gebaseerd op een raster en van ieder punt is een hoogte bekend. Dit is echter slechts op één meter nauwkeurig in de rivierbedding.

3.7 Veldwerk

3.7.1 Repareren en herplaatsen van de peillatten

Voor vertrek naar het binnenland is informatie ontvangen over ontbrekende peillatten. Voor reparatie of herplaatsing zijn daarom nieuwe materialen meegenomen. Projectgroep 2006 heeft bij de meeste dorpen negatieve schaalverdelingen gebruikt. Dit onder andere zodat de scholen met deze schaal kunnen oefenen. Uit de meetgegevens blijkt dat deze negatieve waarden vaak problemen geven bij het aflezen. De schaalverdeling op de peillatten is daarom zo veranderd dat er alleen nog positieve getallen op voor komen.



Figuur 7 Het verven van de peillatten

Bij de meeste dorpen waren de onderste peillatten weggespoeld en stonden de bovenste nog overeind. Om te voorkomen dat de onderste peillatten wederom zullen verdwijnen zijn deze hoger op de oever geplaatst. Hierdoor kan het gedurende de lange droge periode voorkomen dat de peillatten droog komen te staan. Dit is op zich geen probleem voor het waarschuwingsmodel, deze wordt voornamelijk gebaseerd op de hoogwatergegevens.

Hieronder worden per dorp de herstelwerkzaamheden besproken:

3.7.1.1 Kajana

Een omgezaagde boom was bovenop de middelste peillat gevallen waardoor deze was afgebroken. De fundering stond nog overeind. De onderste peillat en fundering bleken verdwenen, de bovenste peillat stond nog overeind. Na het verwijderen van de boom zijn de twee onderste funderingen versterkt en opnieuw aangebracht, de peillatten hebben een nieuwe schaalverdeling gekregen. Deze is 300 cm naar boven verschoven. Het referentiepunt is nu: 300 cm op de peillat = top van grote rots in het midden van de rivier.



Figuur 8 Op gelijke hoogte brengen van de peillatten

3.7.1.2 Djoemoe

Bij Djoemoe zijn op twee locaties peillatten aangebracht door projectgroep 2006. Eén locatie is na de samenstroming van de Pikin Rio en Gran Rio in de Suriname rivier ter hoogte van de Medische Zending. Hier bleek de onderste peillat verdwenen welke is herplaatst. De middelste peillat moest recht gezet worden en de bovenste peillat was nog in goede staat. De peillatten hebben een nieuwe schaalverdeling gekregen. Deze is 600 cm naar boven verschoven. Het referentiepunt is nu: 600 cm op de peillat = 0 cm NSP (Normaal Surinaams Punt).

De tweede locatie bevindt zich in de Pikin Rio aan de kant van het vliegveld vlak voordat deze samenstroomt met de Gran Rio. De onderste peillat bleek verdwenen, de overige peillatten stonden nog overeind. De fundering, was gedeeltelijk weggerot. De gehele locatie was overwoekerd met planten. Deze planten zijn weer verwijderd en van de nog staande peillatten zijn de funderingen verstevigd. De negatieve schaalverdeling is op deze locatie behouden om zo de metingen van de twee verschillende locaties van elkaar te kunnen onderscheiden. Het referentiepunt is nog steeds: 0 cm = 0 cm NSP.

3.7.1.3 Botopasi

In het afgelopen jaar heeft Botopasi een nieuwe drinkwaterzuivering gekregen. Voor de inname van het water uit de rivier is een steiger boven de onderste peillat geplaatst waardoor deze scheef is komen te staan. De overige peillatten waren nog in goede conditie. De onderste fundering is herplaatst naast de

steiger. De peillatten hebben een nieuwe schaal gekregen, deze is 350 cm naar boven verschoven. Het referentiepunt is nu: 350 cm op de peillat = top van de rots bij de wasplaats.



Figuur 9 Heien van de fundering voor de peillatten

3.7.1.4 Laduani

De onderste peillat was verdwenen, de middelste in het talud stond los, de bovenste was nog in goede staat. De onderste en middelste fundering zijn herplaatst. De schaal op de peillatten waren al positief zodat deze niet aangepast hoefde te worden. Het referentiepunt is nu 35 cm = diepste punt van de rivier.

3.7.2 Verhangmetingen

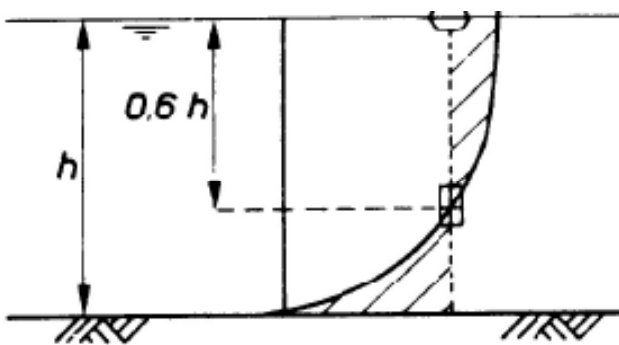
Net als projectgroep 2006, zijn er dit jaar pogingen ondernomen om het verhang in de rivier lokaal te meten. De geografie van de rivier maakt het vaak lastig om goede metingen te doen, zo is het talud van de rivier vaak steil en zijn er maar beperkte plekken voor het opstellen van het waterpasinstrument. Meestal kan dit alleen ter plekke van de badplaatsen. Het bochtige karakter van de rivier zorgt er ook voor dat het lastig is om goede opstelplaatsen in de rivier te vinden. In Kajana lukte het om een geschikte locatie te vinden. Bij de metingen bleek echter dat de golven in de rivier het aflezen van het waterniveau op de baak zodanig onnauwkeurig maken dat de foutenmarge groter is dan het verhang. Een langere afstand tussen baak en waterpas kiezen was hier echter niet mogelijk.



Figuur 10 Verhang meten met waterpasinstrument

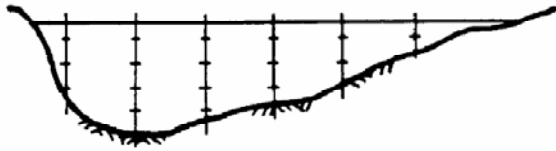
3.7.3 Snelheidsmetingen

De stroomsnelheid in de rivier is verre van uniform over zowel diepte als breedte. In de diepte varieert de snelheid volgens figuur 11. De gemiddelde snelheid over de diepte bevindt zich op ongeveer 60% van de diepte³. In de breedte wordt het water beïnvloed door de oevers en ongelijkheden in de bodem, dit vormt de voornaamste onzekerheid in het profiel. Het aantal meetpunten in de breedte is daardoor belangrijker dan het aantal meetpunten in de diepte. Figuur 12 illustreert dergelijke snelheidsmetingen in een dwarsprofiel.



Figuur 11 Snelheidsprofiel over de diepte

³ Hydrology of Catchments, Savenije, 2006



Figuur 12 Meetpunten over het dwarsprofiel van een rivier

De stroomsnelheid kan op diverse manieren bepaald worden. Veel methoden vallen echter af door de omgeving waarin gewerkt wordt. Het is praktisch onmogelijk om geavanceerde, zware, stroom verbruikende apparatuur naar het Boven Suriname gebied te verslepen. Hierdoor blijven er beperkt aantal methoden over om de stroomsnelheid te bepalen. De meeste van deze methoden vereisen apparatuur die stabiel in de rivier gehangen dient te worden, voorbeelden hiervan zijn: de pendulum-snelheidsmeter en propeller- of cub-meter⁴. Bij deze methoden dient gebruik gemaakt te worden van een boot waarmee vele metingen in de diepte en in de breedte gedaan moeten worden. Een minder tijdrovende methode is gebruiken maken van floats. Door de tijd op te nemen die floats erover doen om een bepaalde afstand in de rivier af te leggen kan in een veel kortere periode ook de watersnelheid gemeten worden met een zelfde orde grootte voor de precisie.

3.7.3.1 Floats

De stroomsnelheid meten met behulp van floats is een relatief eenvoudige, snelle methode van meten die uitgevoerd kan worden met simpele, over het algemeen goed voor handen zijnde materialen. Voor deze methode is dan ook gekozen.

Van een float (drijvend object) wordt de tijd opgemeten die het er over doet om een bepaalde afstand in de rivier af te leggen. De float bestaat over het algemeen uit een drijvend lichaam met daaronder een weerstandslichaam die op een zekere diepte onder de drijver hangt. Aangezien het lastig is om met een float op verschillende dieptes te meten moet de float zo ontworpen worden dat het weerstandslichaam op 60% van de waterdiepte hangt. De variatie van snelheid in de diepte heeft immers een gemiddelde snelheid bij 60% van de waterdiepte, zie figuur 11. In de Boven Suriname rivier heeft dit in de droge periode wel een nadeel; het bodemprofiel is erg grillig waardoor de diepte in de lengte richting van de rivier varieert. Het komt zo geregeld voor dat de float zich in een diep stuk water bevindt en 10 meter benedenstrooms een rots op de bodem raakt. Voor onze metingen zijn er floats gemaakt van twee PET flessen welke door middel van een touw met elkaar zijn verbonden, zie figuur 13. Eén fles is gevuld met zand en water, de andere met een mix van water en lucht waardoor deze rechtop in het water blijft drijven terwijl de andere eronder hangt. Een petfles is 30 cm lang, de verbinding tussen de twee flessen is 10 cm, waardoor de totale lengte van de float 70 cm bedraagt. Wegens bovenstaande problemen met

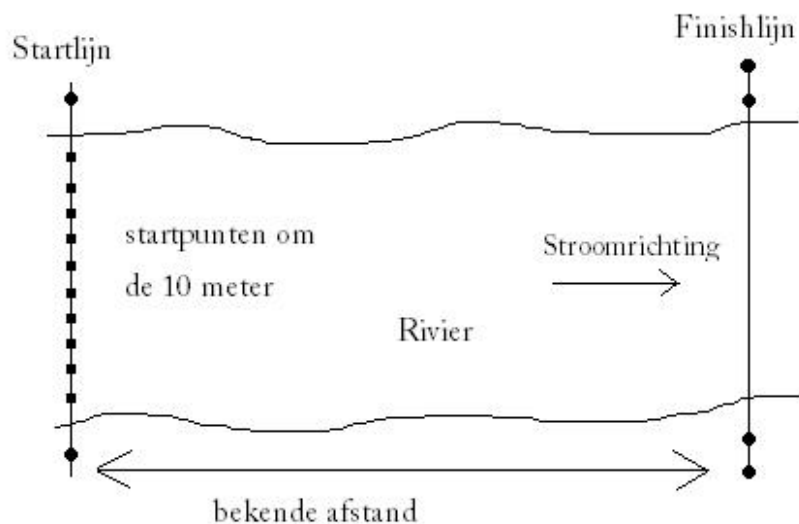
⁴ Hydrological Measurements, Luxemburg en Savenije, 2007

het grillige profiel van de bodem is deze float-lengte bij alle metingen toegepast. Metingen die duidelijk verstoord zijn door het reliëf van de bodem hebben een correctiefactor gekregen.



Figuur 13 Float, opgebouwd uit twee PET flessen, onderin gevuld met water en zand, bovenin gevuld met water en lucht.

Voor de metingen is er een touw haaks over de rivier gespannen welke om de 10 meter is gemarkeerd, dit is de start lijn. Ongeveer 60 meter benedenstrooms is er een visuele lijn haaks over het water bepaald welke als finish dient. Aangezien de stroomsnelheid aanzienlijk varieert in de dwarsrichting wordt om de 10 meter een meting gedaan, zie figuur 14.



Figuur 14 Overzicht van snelheidsmetingen

De metingen dienen in een zo kort mogelijke periode te gebeuren, in ieder geval binnen één dag vanwege het snel variërende waterpeil. Bij het uitvoeren van snelheidsmetingen is het ook van belang om het waterpeil te noteren zodat de gemeten snelheid gekoppeld kan worden aan de waterhoogte en zo gebruikt kan worden om een Q-h kromme te kalibreren. Er dient natuurlijk wel een peilschaal aanwezig te zijn die dit mogelijk maakt. De werkzaamheden bestonden per dorp daarom eerst uit het repareren / herplaatsen van de peillaten alvorens de snelheidsmetingen werden uitgevoerd.

3.7.4 Plaatsbepaling van autografische peilrecorders

Met de heer Naipal, verbonden aan de Anton de Kom Universiteit van Suriname, is overlegd over de mogelijkheid van waterstandmetingen waarin het menselijk handelen geminimaliseerd wordt. Het afgelopen jaar is namelijk gebleken dat het lastig is om aan betrouwbare waterstandsmetingen te komen, zeker als hier geen financiële vergoeding tegenover staat. Idealiter zou al deze data automatisch verzameld en centraal opgeslagen worden zonder menselijk handelingen. De heer Naipal heeft hierop aangegeven dat het mogelijk is om twee autografische peilrecorders te plaatsen. Deze zouden in de Suriname rivier geplaatst kunnen worden. Afgesproken is dat de projectgroep de locaties voor deze recorders bepalen zodat de heer Naipal deze later kan plaatsen.



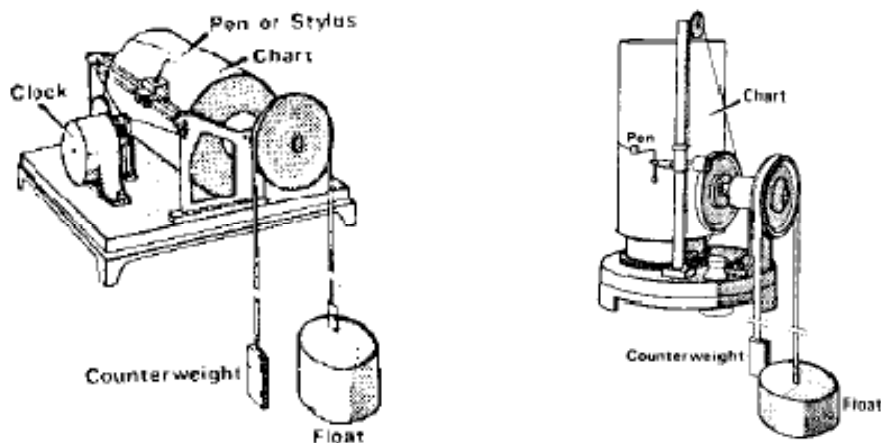
Figuur 15 Fundering van oude peilrecorder bij Laduani

Daar er twee recorders beschikbaar zijn en er vier dorpen bestudeerd worden moet er eerst een afweging gemaakt worden in welke dorpen ze geplaatst dienen te worden. Een hoogwatergolf geeft veel belangrijke informatie voor een waarschuwingsmodel, daarom is er voor gekozen om één recorder bovenstrooms in Kajana te plaatsen en de andere benedenstrooms in Laduani.

3.7.4.1 Autografische peilrecorder

Een autografische recorder wordt gebruikt om waterhoogtes te meten met een drijver. De bewegende drijver is aangelijnd over een katrol met contragewicht. Deze stuurt een pen aan die het niveau tekent op grafiekpapier die op een door een klok aangedreven cilinder is aangebracht, zie figuur 16.

De tijdschaal van het papier zoals hier beschreven is maximaal een week. Een tijdschaal van een maand zou voor het binnenland beter zijn, eens per maand een rol papier verwisselen kost immers niet heel veel tijd. Wel moet het apparaat in de gaten gehouden worden voor mankementen. Een andere methode voor het noteren van de waterstand is op een grafiek die beweegt van één rol naar de andere rol, hierdoor wordt de periode van mogelijke opnamen verlengd.⁵ Bij Laduani is in het verleden gebruik gemaakt van een dergelijke recorder. Het restant is afgebeeld in figuur 15.



Figuur 16 Horizontale (links) en verticale (rechts) autografische peilrecorder

Er zijn een aantal eisen waaraan de locatie van de peilrecorders moet voldoen:

1. De rivier moet recht en zonder obstakels zijn voor tenminste 100 meter benedenstrooms en 100 meter bovenstrooms van de peilmeter om een regelmatig stroomprofiel te garanderen.
2. Er mogen geen opstuwingen aanwezig zijn.
3. De locatie mag niet te makkelijk bereikbaar zijn voor kinderen.
4. De locatie moet buiten het bereik van aanlegplaatsen liggen zodat er geen boten aan vastgemaakt worden.
5. De locatie moet voldoende diep zijn om ook de lage waterstanden te kunnen meten.
6. De locatie moet goed bereikbaar zijn voor onderhoud.
7. De locatie moet in het zicht liggen zodat deze in de gaten gehouden kan worden.
8. Fundering moet gemakkelijk zijn, bij rotsen is dit lastig.
9. Bomen die op de recorder kunnen vallen moeten vermeden of verwijderd worden.

⁵ Hydrological Measurements, Luxemburg en Savenije, 2007, pag 40

10. Dicht bij de locatie moeten snelheidsmetingen mogelijk zijn om zo Q-h krommen te kunnen ontwerpen

3.7.4.2 Plaatsbepaling in Kajana

De meest voor de hand liggende locatie in Kajana is voor het vliegveld, vlak voor het stationsgebouw, zie figuur 17. Hier wordt voldaan aan eisen 3 t/m 10. De rivier is bij het betreffende deel redelijk recht en er zijn geen grote rotspartijen aanwezig die voor grote opstuwingen zorgen. De peillatten bevinden zich ongeveer 50 meter stroomopwaarts aan dezelfde oever.



Figuur 17 Mogelijke locatie peilrecorder Kajana

3.7.4.3 Plaatsbepaling in Laduani

In Laduani ligt het vliegveld niet direct aan het water maar vlak achter de Medische Zending die wel aan het water ligt. Bij het terrein van de Medische Zending zijn de peillatten geplaatst, dit is ook een goede locatie voor de peilmeter. Optimaal kan deze tussen de aanlegplaats van de Medische Zending en de peillatten in worden geplaatst, zie figuur 18. Hierdoor is de kans dat de peilmeter als meerpaal gebruikt wordt het kleinst. Deze locatie voldoet aan de punten 3 t/m 10. Het toezicht op de peilmeter kan dan wellicht gebeuren in samenspraak met een zuster of een broeder aangezien hij buiten het gezichtsveld van de stationschef ligt. Zowel benedenstrooms als bovenstrooms van de locatie bevinden zich stenen in de rivier die de stroming beïnvloeden. Helaas zijn er geen andere locaties binnen het zichtveld van het dorp die hier geen last van ondervinden.



Figuur 18 Mogelijke locatie peilrecorder Laduani

Ter overweging kan meegenomen worden om de peilmeter niet in Laduani te plaatsen maar verder benedenstrooms bij Pokigron. Dit omdat een deel van de rivier niet langs de locatie van de peilmeter stroomt maar om een eiland heen, zie figuur 22 op pagina 35. Daarnaast is het goed om breder te kijken dan alleen dit onderzoek omhelst. Door de peilmeter verder benedenstrooms te plaatsen wordt een groter deel van de rivier bestudeerd, wat ook bruikbaar kan zijn voor andere onderzoeken. Er is geen bezoek gebracht aan Pokigron, een locatiekeuze ter plekke is dan ook niet opgenomen in dit rapport.

3.8 Waarschuwingmodel

3.8.1 Snelheid Oppervlakte methode

De snelheid oppervlakte methode is een methode om een instantane waarde van de afvoer van de rivier te bepalen. De afvoer (Q) van de rivier wordt bepaald door een gemeten snelheid (v_i) die representatief is voor een gemeten deel ΔA_i welke onderdeel is van het dwarsprofiel (A). De toegepaste methode is dan⁶:

$$Q = \int_0^A v * dA \approx \sum_1^n v_i * \Delta A_i$$

Q = Debiet (m^3/s)

A = Oppervlakte dwarsdoorsnede (m^2)

v = stroomsnelheid (m/s)

⁶ Hydrological Measurements, Luxemburg en Savenije, 2007, pag 47

De snelheidsmetingen zijn niet geheel foutloos verlopen. Door variatie in diepte in de lengterichting van de rivier hadden de floats hun weerstandslichaam niet altijd op 60% van de waterdiepte hangen. Het is zo ook voorgekomen dat de floats tijdelijk bleven hangen op de bodem. Stroomversnellingen die in een hoek over de rivier stromen zorgen er soms ook voor dat de floats uit hun baan worden gedreven. Zo worden te hoge waarden voor de snelheid gevonden.

Bij de observatie van de metingen zijn de volgende aantekeningen gemaakt:

- Kajana: kleine stroomversnellingen -> gemeten snelheid te hoog
- Djoemoe: samenvloeien van Gran en Pikin Rio zorgt voor verstoorde stroming -> gemeten snelheid te laag
- Botopasi: floats blijven hangen -> gemeten snelheid te laag
- Laduani: geen opvallende invloeden

Het is heel lastig om de verstoring op de floats te kwantificeren. Er kan hooguit een schatting worden gemaakt van het verwachte tijdsverlies. In dit onderzoek is ervoor gekozen om bij een gewenste snelheidsreductie een factor 0,85 voor de gehele breedte toe te passen. Bij een gewenste snelheidsverhoging wordt een factor 1,15 toegepast.

Dit leidde tot de volgende toegepaste snelheidsfactoren:

- Kajana: 0,85
- Djoemoe: 1,15
- Botopasi: 1,15
- Laduani: 1

3.8.2 Bepaling van het verhang

De projectgroep 2006 had moeite met het vaststellen van het verhang van het de Suriname rivier. Het enige kaartmateriaal wat toen beschikbaar was had een schaal van 1:100.000 met hoogtelijnen om de 50 meter. Dit geeft een grote onnauwkeurigheid in het vaststellen van het verhang, dit werd geschat op 10^{-3} . De verhangmetingen die dit jaar zijn uitgevoerd, zoals beschreven in het veldwerk leverden ook niet de gewenste resultaten op.

3.8.2.1 Simplified slope area method

Een andere methode is de simplified slope area method, ontwikkeld door H.C. Riggs in 1976⁷. Deze methode is alleen geldig in alluviale rivieren. De Boven Suriname rivier bestaat voor een groot deel uit zand maar heeft ook vele stenen waardoor deze methode niet geheel opgaat.

De formule van de simplified slope area method is:

⁷ Hydrological Measurements, Luxemburg en Savenije, 2007, pag 83

$$\log Q = 0,188 + 1,33 \log A + 0,05 * \log S - 0,056 (\log S)^2$$

Q = Debiet (m^3/s)

A = Oppervlakte dwarsdoorsnede (m^2)

S = Verhang (-)

Berekeningen met deze methode bij de verschillende dorpen waarin het debiet van de snelheid - oppervlakte methode en de bekende oppervlakte van de dwarsdoorsnede gebruikt worden resulteren in waarden voor het verhang orde grootte 10^{-5} tot 10^{-6} . Deze waarden zijn veel te laag voor de werkelijkheid. Deze methode is duidelijk niet geschikt voor dit terrein.

3.8.2.2 Maken Digitaal Hoogte Model en koppelen aan Digitaal Terrein Model

Om het verhang van de rivier te kunnen bepalen wordt een digitaal hoogte model gemaakt met behulp van SRTM hoogte gegevens. Hiermee kan het stroomgebied en de loop van de rivier bepaald worden.

3.8.2.3 Verhang uit Digitaal Terrein Model en Digitaal Hoogte Model

Het verhang afleiden uit het digitaal terrein model en het digitaal hoogte model geeft betere en nauwkeurige resultaten. Hiermee kan de afstand tussen de dorpen over de rivierloop nauwkeurig bepaald worden. De hoogteligging van de dorpen kan op de meter nauwkeurig bepaald worden uit het digitaal hoogte model, zie tabel 1.

Daarnaast zijn de hoogtes van enkele locaties aan de rivier op 30 cm nauwkeurig bekend uit het digitaal terrein model, zie tabel 3 en figuur 19. Er moet echter wel nog rekening gehouden worden met de soela's (stroomversnellingen). Deze moeten van het hoogteverschil afgetrokken worden waarbij onderscheid gemaakt moet worden tussen de droge en de natte periode. De hoogtes van de soela's zijn niet exact bekend, schattingen waarmee gerekend is staan in tabel 4. Deze schattingen zijn gebaseerd op rapporten van de heer Naipal en verhalen van de lokale bevolking. In de natte periode staan bijna alle soela's onder water waardoor een steiler verhang optreedt dan in de droge periode. Tabel 4 geeft de geschatte hoogtes in droge en natte periode van de belangrijkste soela's in het bestudeerde stroomgebied weer.

Het verhang tussen de dorpen en de bekende locaties in natte en droge periode staan in tabel 3. In de droge periode is voor elk rivierdeel tussen de dorpen een meter extra van het verhang afgehaald voor de kleine soela's die niet in tabel 4 opgenomen zijn.

Uit tabel 2 en 3 blijkt dat de rivier niet aan het klassieke beeld voldoet van een steile bovenloop en een vlakke benedenloop. Dit komt doordat het Boven Suriname gebied ligt op het Guyanese schild, een

Precambrian formatie die 80% van het land bedekt⁸. Het bestaat uit een complexe mix van graniet, gneis, metasediment en metavulkanisme en wordt gekarakteriseerd door series van lange terrassen die gescheiden worden door uitgesproken kliffen. Deze kliffen uitten zich in de grote soela's. De tabellen geven voor de droge periode een verhang variërend van $2,0 \cdot 10^{-4}$ tot $4,4 \cdot 10^{-4}$. In de droge periode varieert het verhang tussen $2,9 \cdot 10^{-4}$ en $4,9 \cdot 10^{-4}$. De waarde gemeten op het traject tussen Laduani en Pokigron wordt niet in overweging meegenomen. Door het geringe hoogteverschil van drie meter en de niet exact bekend zijnde verval over de soela's geeft dit een te grote onnauwkeurigheid.

Dorp [-]	Hoogteligging [m] t.o.v. zeeniveau
Kajana	109
Djoemoe	91
Botopasi	81
Laduani	70
Pokigron	67

Tabel 1 Hoogteligging van de dorpen volgens digitaal hoogte model op basis van SRTM satellietgegevens.

Dorpen [-]	Afstand over rivier [m]	Hoogteverschil [m]	Maximaal verhang [-]	Max dh soela [m]	Min dh soela [m]	verhang droge periode [-]	verhang natte periode [-]
Kajana - Djoemoe	24387	18	$7,4 \cdot 10^{-4}$	10	6	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$
Djoemoe - Botopasi	34387	10	$2,9 \cdot 10^{-4}$	1	0	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$
Botopasi - Laduani	22838	11	$4,8 \cdot 10^{-4}$	1	0	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$
Laduani - Pokigron	24040	3	$1,2 \cdot 10^{-4}$	2	0	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$

Tabel 2 Verhang tussen de dorpen op basis van het digitaal hoogte model

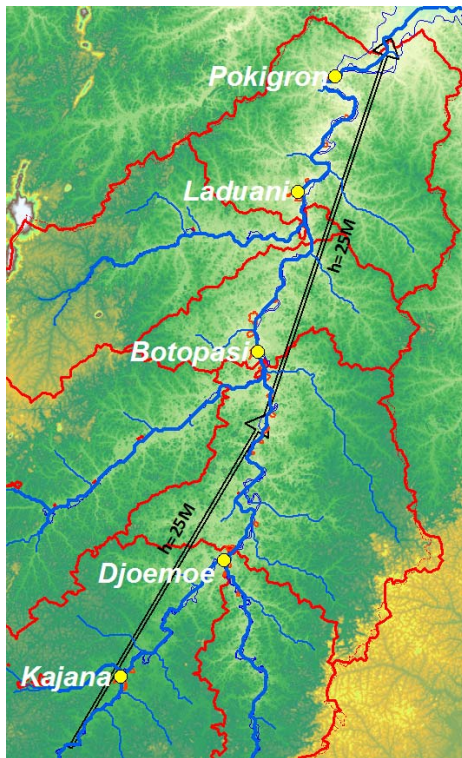
Pijlen [-]	Afstand over rivier [m]	Hoogteverschil [m]	Maxverhang [-]	Max dh soela [m]	Min dh soela [m]	verhang droge periode [-]	verhang natte periode [-]
Up Kajana - Down Djoemoe	60853	25	$4,1 \cdot 10^{-4}$	13	6	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$
Up Botopasi - Down Laduani	65646	25	$3,8 \cdot 10^{-4}$	3	0	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$

Tabel 3 Verhang tussen de locaties waar het digitaal terrein model de rivier kruist

Soela	locatie	h droog	h nat
Awarredan	boven Kajana	2	-
Gran Dan	Djoemoe - Botopasi	6	4
Tapawatra	Djoemoe - Botopasi	4	2
Felolasi	beneden Laduani	2	-

Tabel 4 Geschat verval over soela's in droge en natte tijd

⁸ Water resources assessment of Suriname, US Army Corps of Engineers, Mobile District & Topographic Engineering Center, 2001



Figuur 19 Snijpunten hoogtelijnen digitaal terrein model met rivier

Voor het model wordt aangenomen dat het verhang over het gehele bestudeerde traject in de droge periode gelijk is aan $3 \cdot 10^{-4}$, in de natte periode wordt een maximaal verhang van $4 \cdot 10^{-4}$ bereikt bij de hoogwaterstand van mei 2006.

3.8.3 Ruwheidscoëfficiënt bepalen met behulp van verhang oppervlakte methode

Met de verhang oppervlakte methode is het mogelijk om aan de hand van een dwarsdoorsnede, ruwheidcoëfficiënt, hydraulische straal en verhang, het debiet van de rivier te berekenen. Formules zoals die van Chezy, Manning en Strickler zijn hierbij van toepassing.

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van de Strickler formule⁹:

$$Q = A * k * R^{2/3} * s^{1/2}.$$

Q = Debiet [m^3/s]

A = Oppervlakte dwarsdoorsnede [m^2]

k = Ruwheidscoëfficiënt [$m^{1/3}/s$]

⁹ Design of open-channels and hydraulic structures, Ankum, 2002

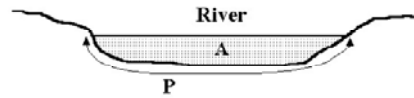
R = Hydraulische straal [m]

s = Verhang [-]

Hierin is:

$R = A / P$ [m]

P = Natte omtrek [m]



De verhang oppervlakte methode is geldig als de rivier uniform stroomt. De eisen hiervoor zijn een redelijk recht en stabiel stuk van de rivier waarin geen soela's, eilanden of scherpe hoeken voor komen. Obstakels zoals rotsen en bruggen mogen niet direct benedenstrooms aanwezig zijn¹⁰. Het te beschouwen stuk van de rivier moet ongeveer 10 keer de breedte van de rivier hebben. De breedte van de rivier bedraagt bij Laduani ongeveer 200 meter, voor een goede meting zou er dus over een afstand van 2 kilometer aan deze eisen voldaan moeten worden. Riviervakken van 2 kilometer die aan bovenstaande eisen voldoen zijn niet standaard in de Boven Suriname rivier. Zeker in de droge periode zorgen de rotsen voor opstuwing en soela's. De peillatten waarop het waterniveau wordt afgelezen staan bij elk dorp in de buurt van het vliegveld zodat de stationschef zonder veel moeite de niveaus dagelijks kan aflezen. Hier zijn dan ook de dwarsprofielen door projectgroep 2006 ingemeten en op deze locaties zijn dit jaar de stroomsnelheden gemeten. Het valt dus te verwachten dat de uitkomsten van de verhang oppervlakte methode niet perfect zullen zijn, ook ondanks het gebruik van de compensatiefactor voor de stroomsnelheid (zie hoofdstuk 8.1 Snelheid oppervlakte methode). Daar komt nog bij dat per locatie slechts één dwarsprofiel gebruikt is, voor een goede benadering zijn minstens 5 dwarsprofielen nodig¹¹.

¹⁰ Hydrology of Catchments, Savenije, 2006

¹¹ Hydrology of Catchments, Savenije, 2006, pag 56



Figuur 20 De Gran Rio bij Kajana; geen uniforme stroming, bron: Google Earth

Met de formule van Strickler kan nu de ruwheidcoëfficiënt berekend worden. Het debiet bij de dorpen is immers bepaald met de snelheid oppervlakte methode (zie hoofdstuk 3.8.1 Snelheid oppervlakte methode), de oppervlakte is bekend uit de dwarsprofielmetingen, net zoals de hydraulische straal. Het verhang is bepaald aan de hand van het digitaal terrein en hoogte model (zie hoofdstuk 3.8.2 Bepaling van het verhang). De k-waarden die hieruit volgen staan in tabel 5 Het blijkt dat de k-waarden variëren tussen 4,5 en 8,6.

Dorp	k [m ^{1/3} /s]
Kajana meting 1	8,6
Kajana meting 2	8,2
Djoemoe	4,5
Botopasi	5,5
Laduani	5,6

Tabel 5 Berekende k-waarden met verhang oppervlak methode

Gezien de onnauwkeurigheid van de methode is ervoor gekozen om één k-waarde te kiezen voor de gehele rivier. Verwacht wordt dat de waarde tussen de laagst en hoogst berekende k-waarde zal liggen, het gemiddelde hiervan is 6. Aangezien de berekenden k-waarden relatief laag uitvallen, meestal heeft een (niet)-alluviale rivier een hogere k-waarde, wordt gekozen voor een k-waarde van 7. De oevers van de rivier zijn begroeid en hebben daardoor een lagere k-waarde. De mate van begroeiing varieert per locatie, over het algemeen bestaat het uit dicht struikgewas en bomen. Voor de oevers is daarom een k-waarde van 3 aangenomen.

3.8.4 Opstellen van Q–h kromme per dorp

Het debiet afhankelijk van de hoogte kan nu berekend worden met de formule van Strickler (zie ook hoofdstuk 3.8.3 Ruwheidscoëfficiënt bepalen met behulp van verhang oppervlakte methode):

$$Q = A * k * R^{2/3} * s^{1/2}$$

Q = Debiet (m^3/s)

A = Oppervlakte dwarsdoorsnede (m^2)

k = Ruwheidscoëfficiënt ($\text{m}^{1/3}/\text{s}$)

R = Hydraulische straal (m)

s = Verhang (-)

De variabelen k en s zijn nu bekend. R en A zijn ook bekend, deze hangen alleen af van de hoogte die ingevoerd dient te worden. De berekening wordt toegelicht in bijlage A: berekening waarschuwingsmodel. Het debiet kan nu geplot worden tegen de hoogte, dit resulteert in de gewenste Q-h kromme.

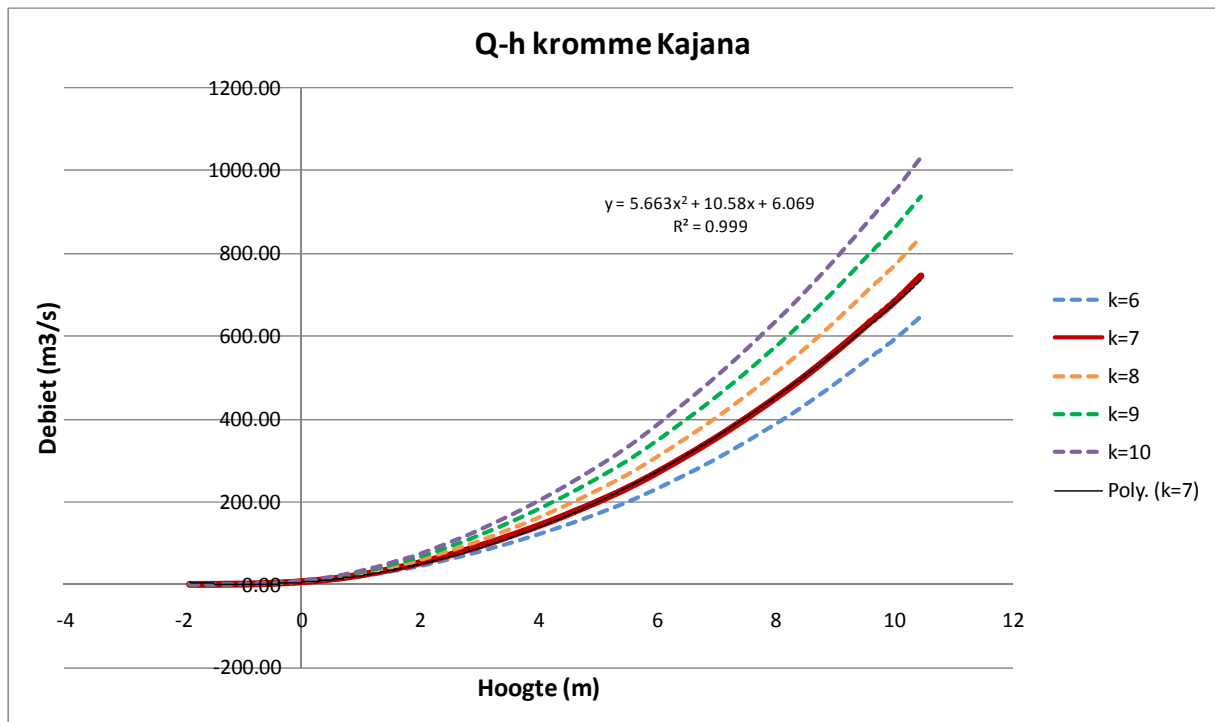
In de formule van Strickler staan twee variabelen die niet precies berekend konden worden: de ruwheidscoëfficiënt (k) en het verhang (s). Over deze gekozen waarden valt te discussiëren of er wellicht een lagere of hogere waarde gebruikt had moet worden. Echter zolang er weinig metingen in de Surinamerivier gedaan zijn zal de waarde een schatting blijven. Wel kan er gekeken worden hoe de waarden invloed hebben op het debiet.

De ruwheidcoëfficiënt heeft de grootste invloed op het debiet, het verhang heeft immers een macht $\frac{1}{2}$.

In tabel 6 staat de berekende ruwheidcoëfficiënt per dorp, aan de hand hiervan is gekeken wat een logische minimale ($k_{\min}$) en maximale ($k_{\max}$) waarde is voor k . De Q-h krommen zijn geplot met het bereik van deze k -waarden. In de plot is de kromme met de meest waarschijnlijke ruwheidcoëfficiënt $k=7$ weergegeven met een doorgetrokken lijn, de overigen zijn gestippeld. Figuur 21 is de Q-h kromme van Kajana, alle krommen zijn opgenomen in bijlage C: Debiet – hoogte relaties dorpen.

k	kmeting	kmin	kmax
Kajana	8,4	6	10
Djoemoe	3,9	3	8
Botopasi	4,8	4	8
Laduani	5,6	4	8

Tabel 6 Berekende k-waarden en bijbehorende marges



Figuur 21 Debiet waterstand kromme Gran Rio bij Kajana

Voor Laduani dient nog wel een aanpassing gemaakt te worden. De rivier heeft vlak voor het dorp, en dus ook voor de peillatten, een afsplitsing. Figuur 22 laat het bovenaanzicht van Laduani zien, ook wel bekend als Aurora. Hier is duidelijk te zien dat de rivier zich voor het dorp splitst: het grootste deel van de rivier (nummer 1) stroomt langs het dorp (de witte vlek op de kaart), haaks op de rivier staat vlak voor het dorp een aftakking (nummer 2). De peillatten staan benedenstrooms (ten noorden) van deze splitsing maar bovenstrooms van de samenvoeging, het debiet door de aftakking wordt dus niet meegenomen in de berekening. Bij gebrek aan gegevens omtrent deze aftakking wordt verondersteld dat de verdeling hier proportioneel plaats vindt. Deze aanname is waarschijnlijk niet volledig terecht, de



Figuur 22 Luchtfoto Boven Suriname rivier nabij Laduani met afsplitsing, bron: Google Earth

haakse hoek doet vermoeden dat de zijtak minder water krijgt dan proportioneel berekent. Bij gebrek aan overige gegevens wordt dit toch aangenomen. De breedte verhouding tussen dwarsdoorsnede 1 (rivier) en 2 (aftakking) is 5 : 1. De aftakking verwerkt dus 17% van de totale afvoer. Dit is dus 20% van het debiet wat bij de peillatten gemeten wordt. In de bijlage C: Debiet hoogte relaties dorpen zijn alle Q-h krommen opgenomen. Laduani heeft twee krommen:

- Q-h kromme dorp Laduani: het debiet dat langs het dorp stroomt (zonder de aftakking)
- Q-h kromme totaal Laduani: het totale debiet dat door de rivier wordt aangevoerd (inclusief aftakking).

Van elke Q-h kromme is een trendlijn vastgesteld, met een nauwkeurigheid R^2 is de polynoom de best passende functie:

- Kajana: $Q = 5,663h^2 + 10,58h + 6,069$ $R^2 = 0,999$
- Djoemoe: $Q = 6,512h^2 + 45,10h + 76,98$ $R^2 = 0,998$
- Botopasi: $Q = 9,863h^2 + 16,81h + 4,434$ $R^2 = 0,999$
- Laduani dorp: $Q = 11,84h^2 - 66,26h + 75,46$ $R^2 = 0,997$
- Laduani totaal: $Q = 14,21h^2 - 79,51h + 90,55$ $R^2 = 0,997$

h = Waterdiepte (m)

Q = Debiet (m^3/s)

R^2 = Relatieve fout (-)

Het debiet ten tijde van de overstroming in mei 2006 kan per locatie uit de bijbehorende grafiek afgelezen worden, de waarden staan vermeld in tabel 7.

Dorp	Q
[-]	[m ³ /s]
Kajana	471
Djoemoe	688
Botopasi	788
Laduani	1314

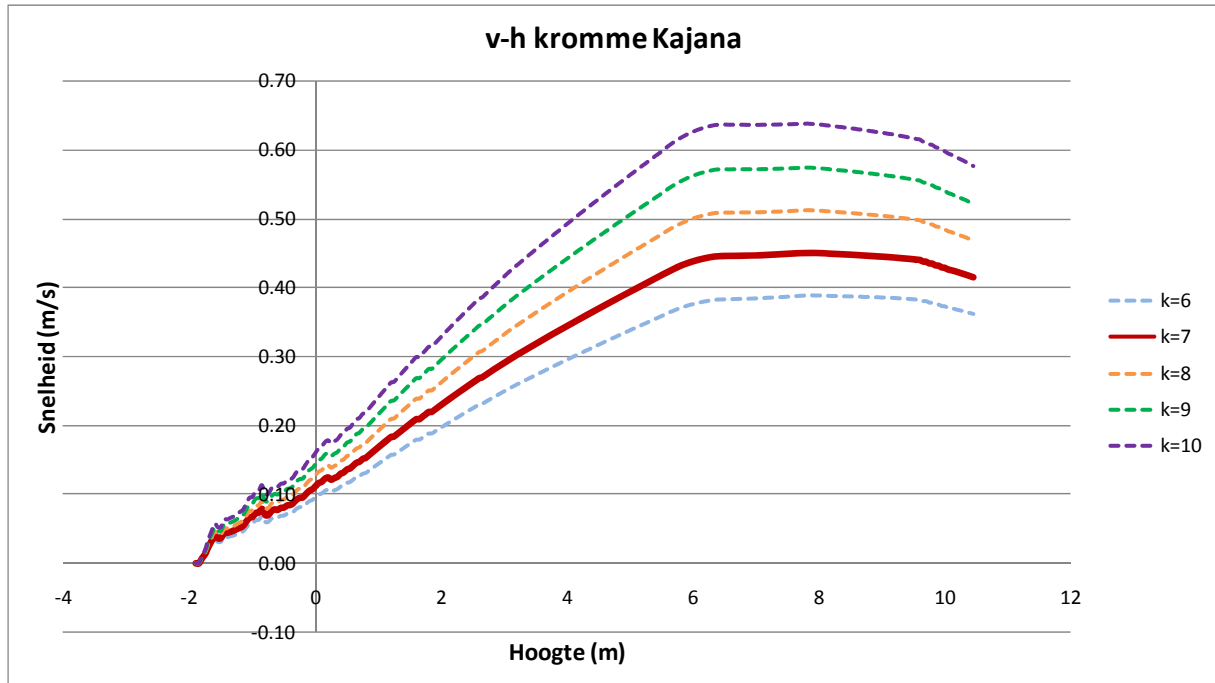
Tabel 7 per dorp bij de hoogwaterstand van mei 2006 op basis van berekende Q-h krommen

3.8.5 Voortplantingssnelheid hoogwatergolf

De voortplantingssnelheid van de hoogwatergolf is erg belangrijk om te weten. Wanneer er bovenstrooms een hoge waterstand wordt waargenomen is het voor een waarschuwingssysteem noodzakelijk te weten hoe lang het duurt voordat deze hoogwatergolf de benedenstroomse dorpen bereikt.

Nu dat de Q-h relaties bekend zijn, zijn ook de v-h relaties, oftewel de stroomsnelheid-waterhoogte

relaties bekend. Zie als voorbeeld figuur 23. De stroomsnelheden bij hoog water zijn ongeveer 0,5 m/s over het hele traject Kajana – Laduani. Zie voor alle v-h relaties bijlage D: snelheid – hoogte relaties. De voortplantingssnelheid van een hoogwatergolf verhoudt zich volgens Strickler tot de stroomsnelheid



Figuur 22 Snelheid - waterstand kromme Gran Rio bij Kajana

als $c = 5/3 * v$.¹² In de praktijk vindt men echter waarden van $c \approx 1,5 * v$.¹³ Dit betekent dat een hoogwatergolf zich zal voortplanten met een snelheid van ongeveer 0,75 m/s. In tabel 8 worden de bijbehorende looptijden weergegeven. De bijbehorende afstanden zijn gemeten uit het Digitale Terrein Model.

Traject	Afstand [m]	Looptijd Hoogwatergolf [uren]
Kajana - Djoemoe	24387	9
Djoemoe - Botopasi	34387	13
Botopasi - Laduani	22838	8
Kajana - Laduani	81612	30

¹² Savenije, Hydrology of Catchments

¹³ Muskingum-Cunge Flood Routing Procedure in NRCS Hydrologic Models, Merkel, W.H. 2002

Tabel 8 Loop tijd van een hoogwatergolf tussen de dorpen

Uit tabel 8 blijkt dat de hoogwatergolf over het gehele traject iets meer dan een dag doet. Er blijkt ook dat er in de tijd dat het water hoog staat meer dan eens per dag gemeten zou moeten worden om de rivier optimaal in de gaten te houden en gevaar zo snel mogelijk te signaleren.

3.8.6 Waterstandsrelaties

3.8.6.1 Methodes

Naast de snelheid waarmee een hoogwatergolf zich voortplant is het ook belangrijk om te kunnen voorspellen hoe hoog de waterstanden zullen worden. Hiervoor zijn er h-h relaties nodig, oftewel de waterstanden in een bovenstrooms dorp gerelateerd aan de waterstanden in een benedenstrooms dorp. Deze relaties kunnen op verschillende manieren verkregen worden.

1) Dagelijkse waarnemingen tegen elkaar uit zetten. Deze dagelijkse waarnemingen zijn dan verkregen uit de aflezingen van de peillatten. Deze methode staat ook wel bekend als flood routing zonder berging.

2) De waterstanden benedenstrooms voorspellen met behulp van zowel bovenstroomse als benedenstroomse waarnemingen. Dit kan bijvoorbeeld met de Muskingum methode, ook bekend als flood routing met bergingscomponent.

3) Theoretische relatie tussen waterstanden. Dit kan gedaan worden uitgaande van een lineaire relatie tussen afvoer en oppervlakte stroomgebied. Hierbij wordt de neerslag uniform over het gebied aangenomen. Deze voorspelde afvoer kan vertaald worden in een waterstand gebruik makend van de Q-h krommen.

Omdat er beperkte waarnemingen zijn gedaan, is er gekozen voor een combinatie van de eerste en derde genoemde methode. Bovendien is een waarschuwingssysteem op basis van deze methode in dit geval makkelijker te representeren en te implementeren dan Muskingum routing. Een voorbeeld van hoe er met de Muskingum methode een beter model kan worden gemaakt indien er meer gegevens zijn wordt gegeven in bijlage E: Muskingum methode.

3.8.6.2 Dagelijkse waarnemingen

Alle metingen van waterstanden die zijn gedaan vanaf september 2006 in de dorpen Kajana, Djoemoe, Botopasi en Laduani kunnen tegen elkaar worden uitgezet. De metingen zijn te vinden in Figuur 5, pagina 24. Er moet bij worden aangemerkt dat de kans groot is dat er afleesfouten bij kunnen zitten, omdat er in het veld gemerkt is dat de met de metingen belastte personen niet altijd even goed zijn in het juist aflezen van de peillatten. Bovendien staan bij Djoemoe op twee plaatsen peillatten, te weten in de Pikin Rio (Djoemoe vliegveld) en in de Surinamerivier (Djoemoe Medische Zending). De laatstgenoemde is opgenomen in het waarschuwingssysteem, maar de aflezingen zijn meestal gedaan in de Pikin Rio. Het verschil in waterstand, die op één moment in het veld is waargenomen, is als correctie toegepast op deze waarden.

3.8.6.3 Theoretische relatie waterstanden

Deze methode gaat uit van een lineaire relatie tussen afvoer en oppervlakte stroomgebied. In de praktijk zal dit echter nooit het geval zijn, omdat (piek)afvoer voornamelijk in hellende gebieden wordt gegenereerd. Toch is hiervoor gekozen om het model zo eenvoudig mogelijk te houden. Ook de neerslag wordt uniform over het gebied aangenomen. De formule die dan bij deze methode hoort is:

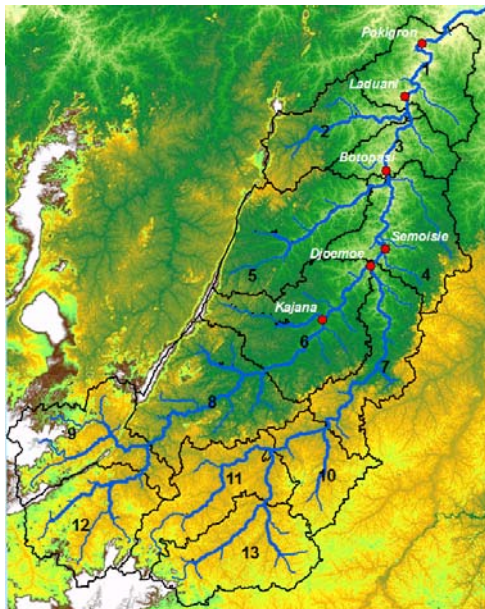
$$Q_{\text{benedenstrooms}} = Q_{\text{bovenstrooms}} * (A_{\text{benedenstrooms}} / A_{\text{bovenstrooms}})$$

Met:

Q = afvoer

A = oppervlakte stroomgebied

Het totale stroomgebied wordt weergegeven in figuur 24. De oppervlaktes van de deelstroomgebieden staan in tabel 9. En de oppervlaktes van de stroomgebieden bij de dorpen in tabel 10.



Figuur 23 Stroomgebied Boven Suriname rivier met deelstroomgebieden

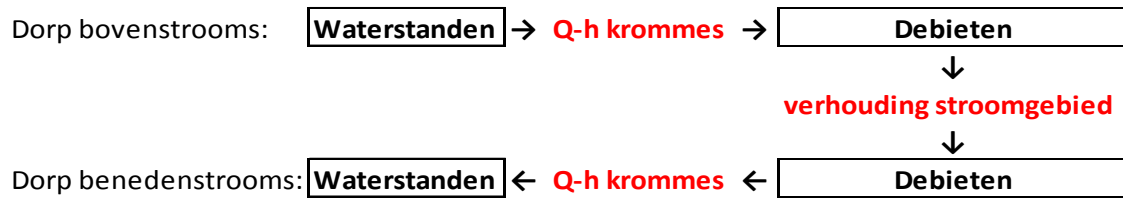
Stroomgebied [-]	Oppervlak [km ²]
1	521
2	459
3	273
4	610
5	676
6	813
7	526
8	806
9	610
10	376
11	580
12	1.128
13	623
Totaal:	8.001

Tabel 9 Oppervlak stroomgebieden bij dorpen

Dorp	Oppervlak stroomgebied [km ²]
Kajana	2.851
Djoemoe	3.358
Botopasi	6.749
Laduani	7.540
Pokigron	7.871

Tabel 10 Oppervlak deelstroomgebieden

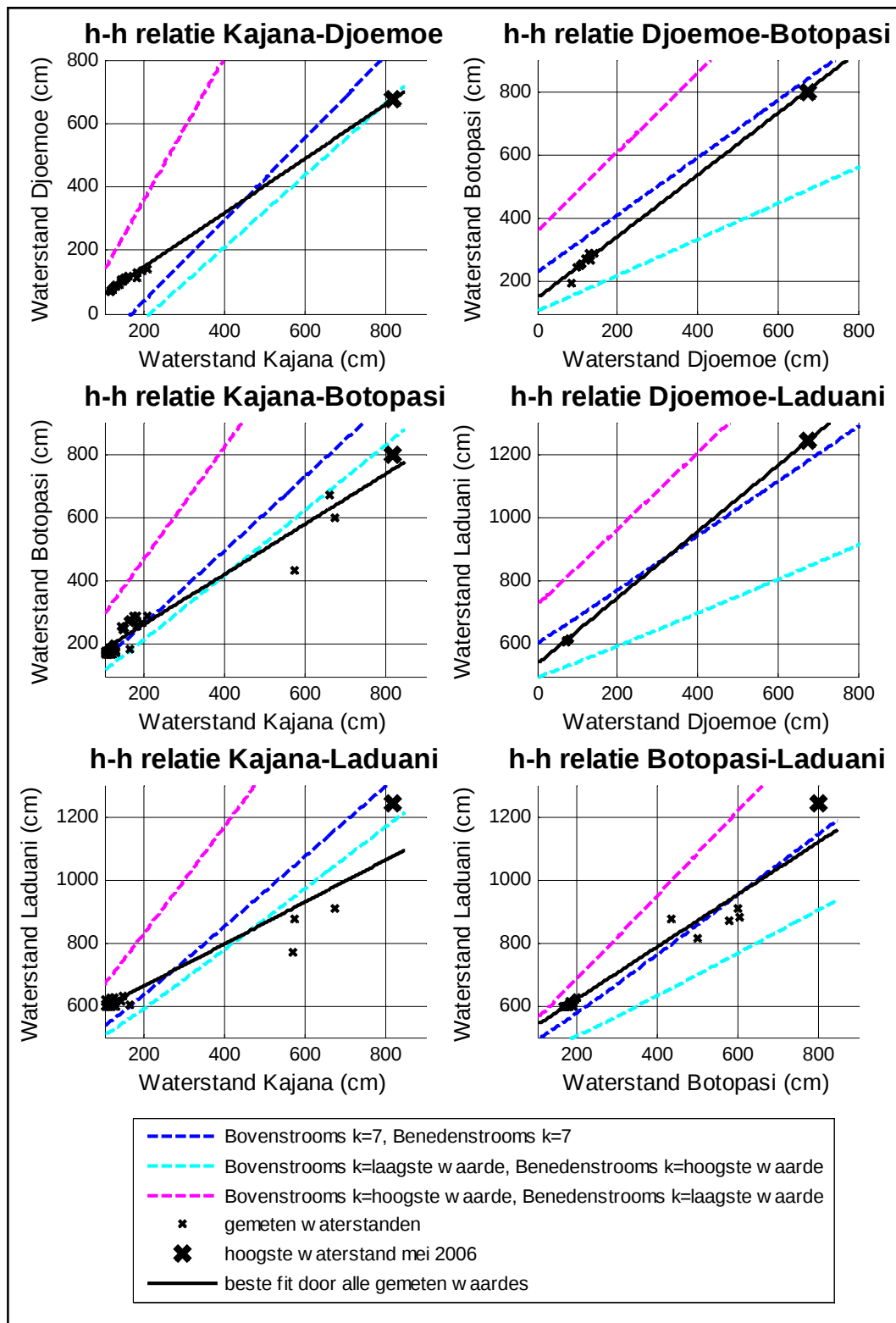
In figuur 25 wordt de methode weergegeven in een stroomschema.



Figuur 24 Methode berekening h-h relaties

3.8.6.4 Resultaten

De gebruikte methodes resulteren in grafieken die de h-h relaties weergeven tussen de dorpen. Deze relaties worden weergegeven in figuur 26.



Figuur 25 waterstand - waterstand relaties tussen dorpen

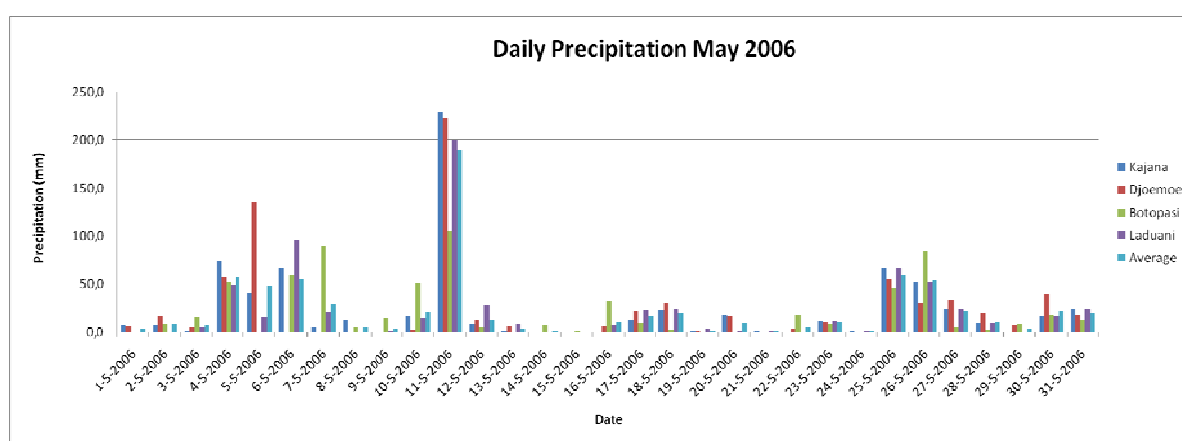
Hiermee kan dus grof afgelezen worden welke waterstand er bij een benedenstrooms dorp te verwachten is als bij een bovenstrooms dorp een waterstand wordt afgelezen. Uit de figuur blijkt dat de lijn waarbij als Strickler coëfficiënt $k=7$ voor boven- en benedenstrooms is aangenomen in de Q-h relaties het beste in de buurt komt van de beste fit voor de gemeten waardes. Er valt ook te zien dat er feitelijk te weinig waarnemingen zijn om met zekerheid voorspellingen te doen. Indien er een jaar lang gemeten wordt kunnen de h-h relaties betrouwbaarder worden gemaakt. Er valt in de grafieken van Kajana te zien dat de waterstand bij Kajana feitelijk sneller stijgt ten opzichte van de andere dorpen dan wat op grond van de Q-h relaties te verwachten is. Dit kan komen doordat er in het stroomgebied van Kajana meer neerslag valt, in 2007 is dit ook het geval geweest, zie Figuur 28, pagina 52. Ook kan het komen door afvlakking van de hoogwatergolf, tijdens hoogwater wordt er meer water buiten de oevers geborgen.

Om dit te vertalen naar een waarschuwingssysteem is er gekozen voor een kleurencodering, zie

Bijlage G: Formulieren binnenland. Bevinden de waterstanden zich in het groene gebied is de waterstand veilig. Bevinden de waterstanden zich in het gele gebied dan moet men extra alert zijn. Wanneer het water stijgt tot een niveau binnen het rode gebied dan moet men zichzelf in veiligheid brengen en benedenstroomse dorpen waarschuwen. Volledig overzicht van binnenland formulieren wordt weergegeven in bijlage G: Formulieren binnenland.

3.8.7 Neerslag – afvoer model

Naast een systeem waarbij dorpen elkaar onderling waarschuwen is het ook interessant om te kijken naar een systeem waarbij alle dorpen gewaarschuwd kunnen worden op basis van neerslagdata. Hiervoor is een neerslag – afvoer model nodig. Dit zou in dit geval kunnen functioneren met daggegevens van neerslag en afvoer en voorspelde neerslag. Helaas ontbreekt het aan voldoende afvoer of waterstanddata om een dergelijk model te kalibreren. 51Figuur 26geeft bovendien aan dat de hydrologie van dit stroomgebied erg gecompliceerd is, De overstromingen waren op 6 mei 2006, maar op 11 mei 2006 werden nog veel extremere waarden waargenomen die niet tot overstromingen leidden.



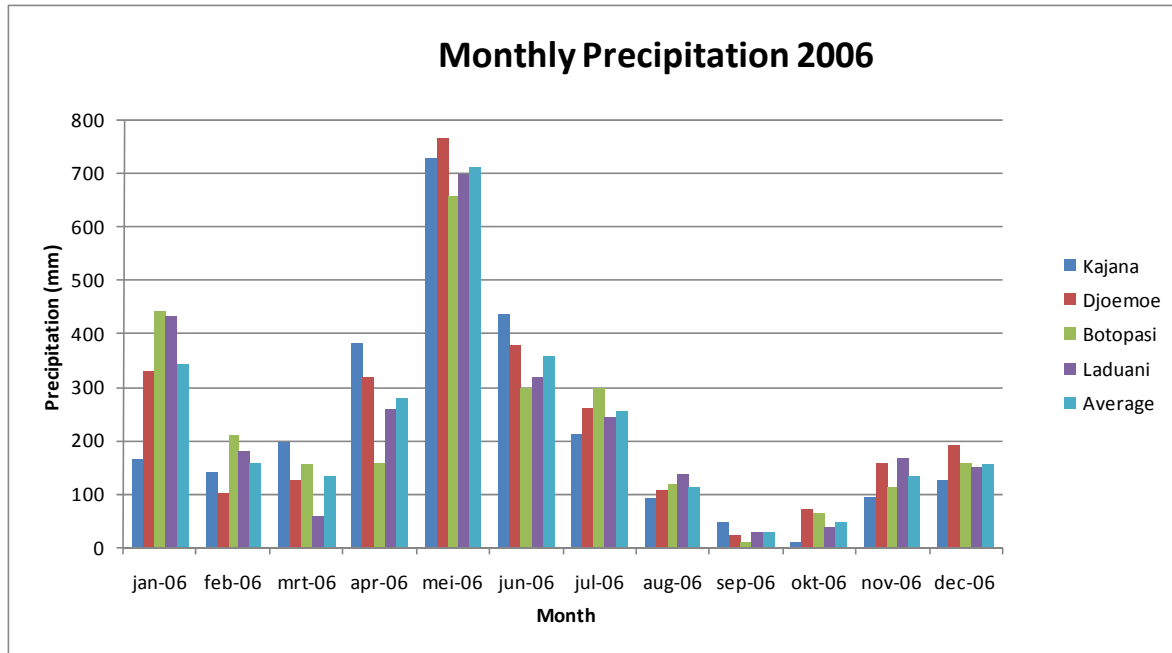
Figuur 26 Dagelijks Neerslag Mei 2006, bron: Meteorologische Dienst Suriname

Daarom is er in dit project gekozen voor het maken van een neerslag – afvoer model op basis van maandgegevens. Uit dit model kunnen belangrijke parameters, zoals de interceptie drempelwaarde en de gemiddelde transpiratie worden afgeleid. Deze parameters kunnen in de toekomst input bieden voor een dagmodel. Tevens kan het gebruikt worden om te kijken of de Q-h relaties in orde grootte overeen komen met de voorspelde maandgemiddelde afvoer. Een goed model op dagbasis zou die Q-h relaties nog beter kunnen kalibreren.

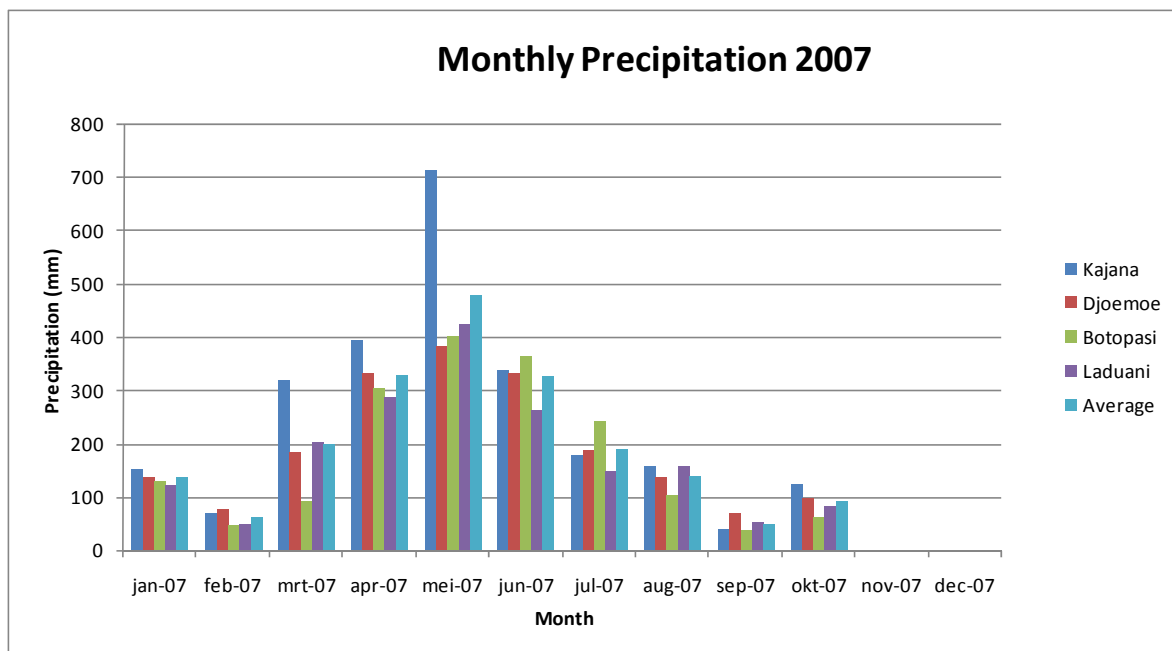
1.1.1.1 Input data

Voor de input van het model is gebruikt gemaakt van maandgemiddelde neerslag in Djoemoe in de periode 1975 – 1984 en afvoer bij Pokigron in dezelfde periode. Deze data staat in

Bijlage F: Input data Neerslag – afvoer model. De neerslag bij Djoemoe wordt representatief geacht voor het gehele gebied. Tevens zijn op basis van de neerslag in 2006 en 2007 de correlatiecoëfficiënten van de andere stations met Djoemoe berekent. Zie hiervoor Figuur 27, Figuur 28 en Tabel 11.



Figuur 27 Maandelijks Neerslag 2006, bron: Meteorologische Dienst Suriname



Figuur 28 Maandelijks neerslag 2007, bron: Meteorologische Dienst Suriname

correlatiecoëfficiënten	Maandgemiddelden	Dagwaarden
correlatie Djoemoe-Kajana	0,860	0,671
correlatie Djoemoe-Botopasi	0,895	0,546
correlatie Djoemoe-Laduani	0,927	0,658
correlatie Djoemoe-Average	0,946	0,854

Tabel 11 Correlatiecoëfficiënten meetstations op basis van gegevens 2006-2007

Helaas is het bij deze gegevens wel regelmatig het geval dat er op een bepaalde dag geen waarde is ingevuld, omdat niet te achterhalen is wat de reden daarvan is (bijvoorbeeld geen neerslag, niet doorgegeven of niet afgetapt) zijn lege waarden voor nul aangenomen. De neerslagdata in Pokigron in de periode 1975 – 1984 wordt niet gebruikt vanwege het feit dat van de jaren waarmee vergeleken gaat worden 2006 en 2007 er ook geen neerslagdata bij Pokigron is.

3.8.7.1 Beschrijving model

Het model kan beschreven worden met de volgende formule¹⁴:

$$Q(t) = a + b_1 * (P(t) - I(t)) + b_2 * (P(t-1) - I(t-1)) + b_3 * (P(t-2) - I(t-2)) + \dots$$

Met:

$Q(t)$ = afvoer in maand t

$P(t-i)$ = neerslag in maand $t-i$

I = interceptie in maand $t-i$

a = coëfficiënt die nul moet zijn als alle regenval en verliezen worden meegenomen

b_i = coefficient die de contributie bepaald van effectieve regenval in maand $t-i$ tot de afvoer in maand t

De interceptie I wordt in dit model berekend met behulp van de formule van De Groen:

$$I_m = P_m * (1 - \exp(-D * n_r / P_m))$$

Met:

I_m = maandelijks interceptie

P_m = maandelijks neerslag

D = dagelijkse drempelwaarde voor interceptie, dat wil zeggen valt er minder neerslag op een dag dan deze drempelwaarde is verdampt al die neerslag, valt er meer neerslag dan de drempelwaarde dan verdampt een hoeveelheid neerslag gelijk aan de drempelwaarde.

n_r = Het aantal neerslagdagen in een maand

¹⁴ Hydrology of Catchments, Savenije 2006

Voor de periode 1975 – 1984 is alleen maandgemiddelde neerslag bekend, dus het aantal neerslagdagen in een maand is ook onbekend. Er kan wel een schatting worden gemaakt gebruik makend van de Markov eigenschappen van neerslag. Deze Markov eigenschappen worden afgeleid op basis van de neerslag in 2006 en 2007, waar wel het aantal neerslagdagen bekend is. Onder Markov eigenschappen verstaat men het volgende:

$p01$ = kans van optreden van een regendag na een droge dag

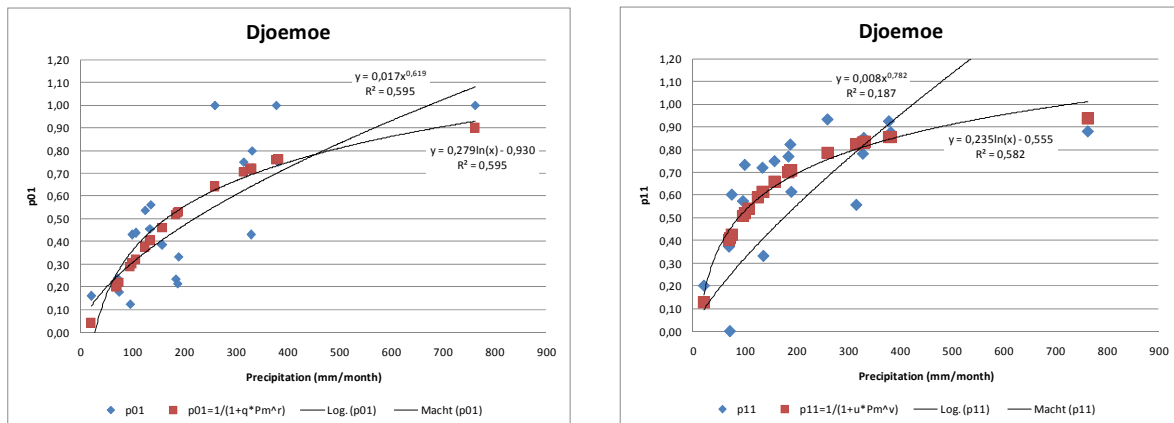
$p11$ = kans van optreden van een regendag na een regendag

Het verwachte aantal neerslagdagen in een maand n_r is gelijk aan:

$$n_r = n * p01 / (1 - p11 + p01)$$

Met:

n = aantal dagen in de maand



Figuur 29 Kans van optreden van een regendag na een droge of natte dag tegenover maandelijks neerslag op basis van Markov eigenschappen

In Figuur 29 zijn deze kansen uitgezet tegen de maandelijks hoeveelheid neerslag en er is een formule afgeleid waarbij $p01$ en $p11$ alleen afhankelijk zijn van de maandelijks neerslag.

De waarden voor Djoemoe staan in Tabel 12:

$$p01 = 1 / (1 + q * P_m^r) \quad \text{Met: } q = 2204 \quad r = -1,49$$

$$p11 = 1 / (1 + u * P_m^v) \quad \text{Met: } u = 331 \quad v = -1,28$$

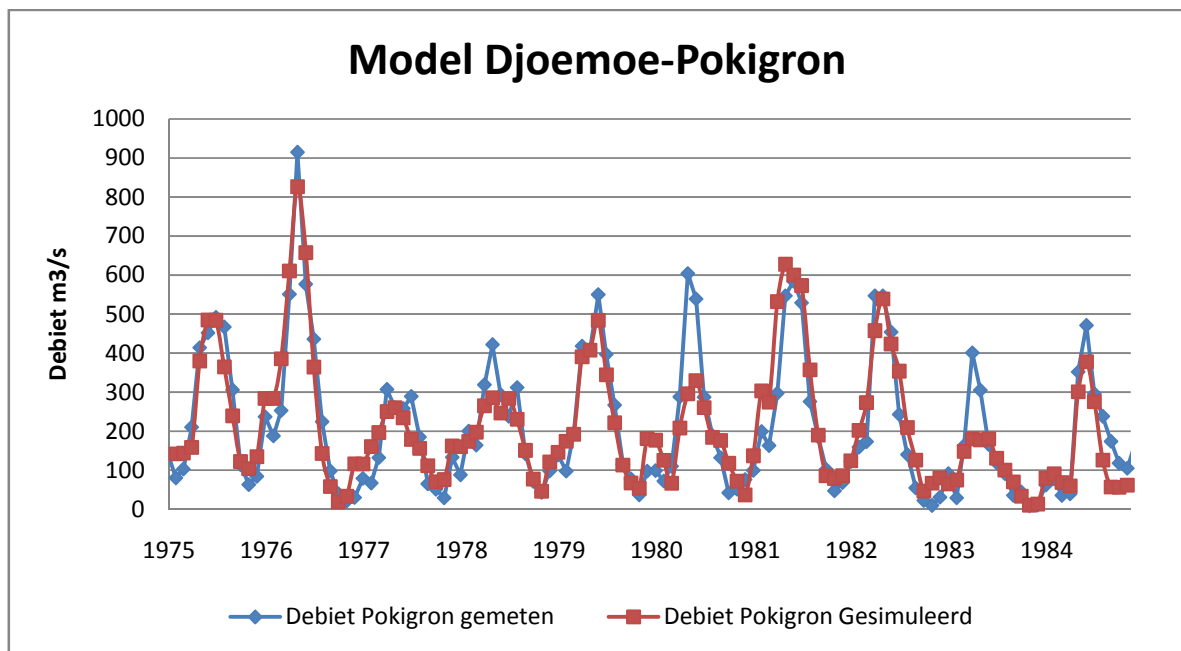
Tabel 12 Kansformule voor natte dag na een natte of droge dag voor Djoemoe op basis van Markov eigenschappen

Met behulp van deze eigenschappen is het verwachte aantal neerslagdagen n_r alleen afhankelijk van de maandelijks neerslag gemaakt. Zo is de formule van De Groen voor maandelijks interceptie I_m alleen

afhankelijk de maandelijkse interceptie en de dagelijkse drempelwaarde D voor interceptie. Deze parameter zal samen met de coëfficiënten b_i worden gekalibreerd.

3.8.7.2 Resultaat

Het invoeren van neerslaggegevens van Djoemoe en vervolgens de parameter D met de onbekende coëfficiënten b_i kalibreren levert de Figuur 1Figuur 30 op.



Figuur 30 Resultaat model voor debiet bij Pokigron en gemeten waarde

Er is gekalibreerd op de de doelfunctie:

$$Q_{\text{gesimuleerd}} - Q_{\text{gemeten}} = 0.$$

Hierdoor blijft de waterbalans gesloten. Het model heeft een Nash-Suttcliff coefficient van: 0,83

De waarden van de gekalibreerde parameters staan in Tabel 13.

Variabele	Waarde
D	6,687
b_1	0,306
b_2	0,245
b_3	0,124

b_4	0,011
-------	-------

Tabel 13 Gekalibreerde parameters neerslag-afvoermodel

Voor het maken van andere modellen kunnen deze parameters zeer nuttig zijn. De parameter D is direct nuttig als zijn de drempelwaarde voor interceptie. Deze kan heel goed constant worden verondersteld over het gehele gebied aangezien het gehele gebied bestaat uit bos.



Figuur 31 Het Boven-Surinamegebied bestaat volledig uit bos

Er wordt aangenomen dat de totale verdamping E_t bestaat uit:

$$E_t = I + T + E_s + E_o$$

Met

I = interceptie

T = transpiratie

E_s = bodemverdamping

E_o = open water verdamping

De interceptie per dag is bekend namelijk:

$$I = \max(P, D)$$

De bodemverdamping en de open water verdamping worden verwaarloosbaar verondersteld.

Nu is de gemiddelde transpiratie T per dag te berekenen uit:

$$T = (1 - (b_1 + b_2 + b_3 + b_4)) * (P_{\text{gemiddeld/dag}} - I_{\text{gemiddeld/dag}})$$

Dit geeft als resultaat $T_{\text{gemiddeld/dag}} = 1,04 \text{ mm}$

De interceptie en transpiratie, oftewel alle verdamping is nu bekend voor dit gebied en deze kennis is goed te gebruiken bij het maken van andere neerslag – afvoer modellen in dit gebied.

3.8.7.3 Simulatie 2006 en 2007

Met behulp van het regressiemodel kan een simulatie gemaakt worden van de maandgemiddelde afvoer in 2006 en 2007 bij Pokigron. Met behulp van de bekende oppervlaktes van de stroomgebieden kan de gesimuleerde afvoer bij Pokigron worden omgerekend naar een afvoer bij de andere dorpen. Zoals eerder opgemerkt is deze methode niet helemaal precies, omdat de neerslag niet uniform is en de (piek)afvoer voornamelijk in de hellende gebieden wordt gegenereerd. De gemeten afvoer kan worden berekend met behulp van de gemeten waterstanden en de Q-h krommen. In dit geval is de Q_{gemeten} dus eigenlijk ook een gesimuleerde afvoer, omdat niet bekend is of deze Q-h krommen correct zijn. De resultaten hiervan staan in table 14.

	Pokigron Q (m ³ /s)	Laduani Q (m ³ /s) en h (m)			Botopasi Q (m ³ /s) en h (m)			Djoemoe Q (m ³ /s) en h (m)			Kajana Q (m ³ /s) en h (m)		
Maand	Q _{gesimuleerd}	Q _{gesimuleerd}	h _{gemeten}	Q _{gemeten}	Q _{gesimuleerd}	h _{gemeten}	Q _{gemeten}	Q _{gesimuleerd}	h _{gemeten}	Q _{gemeten}	Q _{gesimuleerd}	h _{gemeten}	Q _{gemeten}
apr-06	258	248			222			179			94		
mei-06	726	695	12,4*	1341	622	8,00*	788	504	6,75*	688	263	8,20*	471
jun-06	756	725			649			525			274		
jul-06	510	488			437			354			185		
aug-06	231	221			198			160			84		
sep-06	89	85			76	2,70	126	62	1,07	131	32	1,58	40
okt-06	58	56	6,19	142	50			40			21		
nov-06	107	103	6,01	123	92	1,74	66	75			39	1,12	26
dec-06	180	172	6,09	132	154			125			65		
jan-07	166	159			142			115			60	1,29	31
feb-07	125	120			107			87			45		
mrt-07	149	142			128			103			54		
apr-07	303	290			260			210			110		
mei-07	427	409	8**	348	366	5**	330	296			155	5**	200
jun-07	463	444			397			322			168		
jul-07	338	324			290			234			122		
aug-07	214	205			184			149			78		
sep-07	123	118			105			85			45		
okt-07	103	98			88			71			37		

Tabel 14 Afvoer-waterstandrelaties per dorp

* = Piekwaarden van de overstroming, alleen als indicatie, niet te vergelijken met maandgemiddelde

** = Maandgemiddelde geschat op basis van enkele waarnemingen

Overige waterstanden zijn gemiddelde waarde

Aangezien er zowel in de Q-h relaties als het in het neerslag-afvoer model onzekerheden zitten, moeten de resultaten voorzichtig worden geïnterpreteerd. Bovendien zijn er eigenlijk te weinig waterstandswaarnemingen. Echter er is te zien dat de 'gemeten' afvoeren tijdens de overstromingen van mei 2006 net hoger liggen dan de maandgemiddelde afvoeren die uit het model volgen. Dit resultaat valt ook te verwachten. Ook de andere 'gemeten' maandgemiddelde afvoeren komen redelijk overeen met de gesimuleerde waarden.

3.9 Afspraken

Het aflezen en verzamelen van de waterstanden heeft het afgelopen jaar niet goed gefunctioneerd. Dit was deels te wijten aan incomplete afspraken, niet alle spelers waren op de hoogte van het project. Deels kwam het doordat de stationschefs in de binnenlanden na het vertrek van de studenten geen feedback meer kregen over het project, waardoor zij het idee kregen dat er geen belang meer aan de gegevens werd gegeven. Een ander probleem is dat het aflezen draait op vrijwilligheid. De stationschefs krijgen niet extra betaald voor het aflezen, wat zij duidelijk kenbaar hebben gemaakt.

Hieronder volgt een lijst van de belangrijkste personen die bij het aflezen betrokken zijn:

Stationschef van Kajana:	dhr Robby
Stationschef van Djoemoe:	dhr Aboikoni
Stationschef van Botopasi:	dhr Stanley
Stationschef van Laduani:	dhr Lugard

Manager Aerodromes Division:	dhr Saboerali
Hoofd van de radiokamer:	dhr Barend
Directeur van de waterloopkundige afdeling:	dhr Amatali
Hoofd docent aan de ADEK:	dhr Naipal

Met de Stationschefs in de dorpen is afgesproken dat zij iedere ochtend de waterstanden aflezen en deze via de radio doorgeven aan vliegveld Zorg en Hoop. Dit kan het beste gebeuren op het moment dat de neerslag gegevens doorgegeven worden. De stationschefs hebben aangegeven dat zij het op prijs stellen als vliegveld Zorg en Hoop naar de waterstanden vraagt in plaats dat zij zelf het initiatief over de radio moeten nemen. Alleen in Djoemoe gebeurt het aflezen bij de Medische Zending, drie keer per week, op maandag, woensdag en vrijdag om 9.00 uur neemt de stationschef van Djoemoe contact met de Medische Zending op om de waterstanden over te nemen. Hij geeft deze dan weer door aan vliegveld Zorg en Hoop.

Op Het vliegveld Zorg en Hoop worden met goedkeuring van de Manager Aerodromes Division, de heer Saboerali, de waterstandgegevens verzameld. Deze gegevens dienen regelmatig opgehaald te worden. Helaas is het niet gelukt hier eenduidige afspraken over te maken. Uiteindelijk zouden de gegevens bij de waterloopkundige afdeling van Suriname terecht moeten komen. De heer Naipal, hoofddocent aan de ADEK, en de heer Amatali, directeur van de waterloopkundige afdeling, zullen dit afhandelen.

3.10 Terugkoppeling

Om te voorkomen dat de gemeten waterstanden in de toekomst onbruikbaar worden door een gebrek aan informatie omtrent de locaties van de peillatten, zijn de belangrijkste gegevens vermeld op formulieren. Op deze formulieren staan per dorp het dwarsprofiel, exacte locatie van de peillatten en de hoogteligging van de peillatten ten opzichte van een referentiepunt. De formulieren zijn opgenomen in bijlage G: Formulieren binnenland.

Deze formulieren liggen ter inzage bij:

- De vliegvelden in het Boven Suriname gebied
- Vliegveld Zorg en Hoop
- De Anton de Kom Universiteit van Suriname bij de afdeling Hydrologie
- De Waterloopkundige dienst

3.11 Conclusie

Het waarschuwingssysteem met de kleurcodering waarbij bovenstrooms benedenstrooms moet waarschuwen is nog verre van perfect. Er zijn nu twee modellen gemaakt, de h-h relaties op basis van de Q-h relaties en het neerslag – afvoer model op maandbasis. Het is positief te noemen dat deze onafhankelijke modellen resultaten genereren die in dezelfde orde grootte liggen. De modellen die er nu liggen beschrijven de werkelijkheid echter nog net niet goed genoeg. Wanneer er consistente reeksen zijn van neerslag en waterstanden in de vier bezochte dorpen en debieten bij Pokigron op dagbasis is het mogelijk de modellen te verbeteren. Het plaatsen van autografische peilrecorders bij Kajana en Laduani zou een goede aanvulling zijn op de huidige metingen.

3.12 Aanbevelingen

Onderstaande aanbevelingen voor een vervolgproject zouden moeten leiden tot een goed h-h model en een goed neerslag - afvoer model:

- Construeren van Q-h krommen in de regentijd. In de regentijd is grote waterstandsfluctuatie te verwachten. Zodoende kunnen er in korte tijd veel debietmetingen bij verschillende waterstand gedaan worden. Floats worden zeker weer aanbevolen, alhoewel een andere methode als controle geen kwaad kan.
- Lokale hellingen metingen tijdens de regentijd. Ditmaal gebruik makend van een stilling well rondom de baak, en meerdere metingen doen om de meetfout eruit te filteren. De gemeten hellingen dienen als controle op de hellingen die volgen uit het digitaal terrein- en hoogtemodel.

- Als er waterstand hydrographs beschikbaar zijn in combinatie met neerslaggegevens, kunnen hier veel hydrologische gegevens uit afgeleid worden zoals het uitputtingsverloop (depletion curve) en de reactietijd van het stroomgebied.
- Beter onderzoek doen naar de ruimtelijke verdeling van de neerslag, met interpolatietechnieken of met behulp van satellietgegevens.
- Meenemen van formulieren voor een waarschuwingssysteem naar het binnenland om ze daar met de lokale bevolking te bespreken.

Overige zaken die van belang zijn voor dit project:

- Samen met eerder genoemde betrokkenen verantwoordelijken aanwijzen voor onderhoud aan de peillatten.
- Intensiteit van metingen zou verhoogt moeten worden tijdens het regenseizoen, in de ideale situatie tot 8 metingen per dag.
- Plaatsen van autografische peilrecorders als controle op de waarnemingen bij de peillatten en voor extra informatie door de continue registratie. Met continue registratie kan de looptijd van een hoogwatergolf veel exacter bepaald worden.
- Waterstandmetingen opzetten bij de grote soela's, om de invloed hiervan op de hellingen te bepalen.

4 Drinkwater

4.1 Inleiding

4.1.1 Drinkwater situatie in de wereld

Water is onmisbaar voor al het leven op aarde. Ruim 400 miljoen mensen op aarde hebben tekort aan water en dat terwijl er theoretisch voldoende zoetwater in de wereld beschikbaar is voor iedereen. 'The millennium development goals' hebben dan ook onder andere als doel om minstens de helft van de mensen die nu geen toegang hebben tot voldoende drinkwater en sanitatie dit voor 2015 wel te laten hebben.

Voldoende beschikbaar water is een voorwaarde voor voldoende kwaliteit van leven. Het is van belang dat zowel de kwantiteit als de kwaliteit voldoen. Voor de kwaliteit geldt de norm van de WHO. In Nederland gebruikt een enkel persoon 120 tot 130 liter drinkwater per dag. In ontwikkelingslanden kan dit verschillen tussen de 40 en 7 liter water per persoon per dag afhankelijk van de af te leggen afstand naar de dichtstbijzijnde waterbron. Dit water moet dan ook van voldoende kwaliteit zijn. Zo mag het water maar weinig opgeloste deeltjes bevatten. Deze deeltjes kunnen invloed hebben op de huishoudelijke, industriële, commerciële en agrarische doeleinden. Andere factoren die de waterkwaliteit beïnvloeden zijn pathogene organismen, chemicaliën, metalen en enkele soorten ionen die in grotere hoeveelheden schadelijk kunnen zijn.

Ziekten zoals tyfus, cholera en diaree zorgen voor veel sterfgevallen onder voornamelijk baby's en kinderen. Een ander gevolg van een onvoldoende kwaliteit en kwantiteit van het water is de voedselstand. Een volledige aanplant kan vernietigd worden door irrigatie van vervuild water. Ook kan de visstand als gevolg van dit vervuilde water aanzienlijk afnemen.^{15, 16}

4.1.2 Drinkwater situatie in Suriname

In het binnenland van Suriname (rurale gebied) is het drinkwaterprobleem groot. Slechts een klein deel van de dorpen is aangesloten op een drinkwatervoorzienend systeem waarbij de dorpelingen toegang hebben tot openbare tappunten en sanitatie. De rivier levert altijd genoeg water om te baden en te wassen en dergelijke. Ook het kreekwater wordt vaak voor deze doeleinden gebruikt. Ondanks de beschikbaarheid van deze voldoende hoeveelheden water is dit voor directe consumptie niet geschikt.

¹⁵ US Army Corps of Engineers, Rapport betreffende Water in Suriname

¹⁶ Afstudeerverslag drinkwatersituatie in de binnenlanden van Suriname, Anton de Kom Universiteit Suriname

Voor drinkwater wordt voornamelijk gebruik gemaakt van regenwater en kreekwater. Deze hoeveelheden beschikbaar drinkwater zijn echter afhankelijk van klimatologische factoren. Zo is er in de lange en korte regenperiode voldoende beschikbaar, in de lange droge periode drogen deze bronnen echter op. Een ander probleem is dat het opgevangen regenwater en het kreekwater vaak verontreinigd zijn als gevolg van sanitaire activiteiten. Indien deze drinkwaterbronnen opgedroogd zijn stapt men vaak over op rivierwater, welke in de droge periode het meest vervuild is. Ook gebruikt men wel een vorm van oeverfiltraat, dit vereist echter de benodigde inspanning.

Het drinkwaterprobleem heeft niet te maken met de beschikbaarheid van het water, maar het ontbreekt ze aan de middelen, technische en sociale kennis om op een adequate manier water van een voldoende kwaliteit te verkrijgen. Er zijn verschillende potentiële bronnen in het binnenland aanwezig zoals oppervlaktewater van de rivier en de verschillende krekken; regenwater en (afhankelijk van het gebied) grondwater. Slechts 0,2% van deze bronnen worden gebruikt als drinkwatertoevoer. Het oppervlaktewater van de rivier is als gevolg van het gebruik voor huishoudelijke activiteiten ongeschikt voor directe consumptie. Daarnaast moet er rekening worden gehouden met de goudmijnactiviteiten langs de rivier die een hoge concentratie kwik veroorzaken kwik. Het water uit de krekken is doorgaans van goede kwaliteit. Dit geldt echter alleen als het bovenstrooms niet gebruikt wordt door andere dorpen. Het regenwater zoals dit uit de hemel valt is vrij van bacteriën en andere pathogene organismen. Het is echter ook vrij van alle soorten mineralen, wat het ongeschikt kan maken voor consumptie gedurende zeer lange periode. Het regenwater wordt via de daken opgevangen in zogenaamde DURO-tanks. Deze tanks zijn doorgaans slecht afgesloten wat contaminatie met pathogene organismen weer mogelijk maakt. Grondwater is bacteriologisch betrouwbaar, wat het een geschikt waterbron zou maken. Het grootste deel van de ondergrond bestaat echter uit graniet waardoor een grondwaterboring alleen in spleten tussen het graniet kan plaatsvinden. Dit maakt grondwaterboringen een zeer kostbare onderneming.

Er zijn verschillende organisaties die zich onder andere inzetten voor het beschikbaar stellen van voldoende drinkwater in de landelijke gebieden van Suriname. Ook de overheid en de N.V. Surinaamse Waterleiding Maatschappij zetten zich in voor deze drinkwatervoorzieningen. Deze kampen echter met financiering- en exploitatietekorten.

Het probleem ligt echter niet alleen bij gebrekkige technische implementatie. Gebrek aan onderhoud, sociale controle, financiële middelen, logistiek en miscommunicatie tussen de stad en het binnenland zijn minstens zulke belangrijke factoren die niet over het hoofd gezien mogen worden.

De Nationale Vrouwen Beweging is een instantie die onder andere bemiddelt tussen dergelijke organisaties en het binnenland. De NVB had ons verzocht een studie uit te voeren naar twee verschillende handmatige filters die geïmplementeerd waren in verscheidene dorpenclusters zoals Kajana, Djoemoe en Laduani. Het gebruik van deze filters wordt toegelicht in paragraaf 4.4.3.

4.2 Probleemanalyse

Suriname heeft verscheidene zoetwater bronnen, toch is er in de rurale gebieden een tekort aan drinkwater van voldoende kwaliteit. Verschillende organisaties en overheidsinstellingen zetten zich in voor verbetering. Het resultaat is vaak echter niet toereikend en dat terwijl de technische implementatie vaak goed is. De oorzaken hiervan zijn divers, hierdoor zijn er dan ook verschillende mogelijkheden die tot een verbetering zouden kunnen leiden. De verschillende problemen met betrekking tot het drinkwater worden hiertoe eerst globaal geanalyseerd:

1. Verschillende seizoenen, gekenmerkt door een lange droge- en lange natte periode afgewisseld door een korte droge- en korte natte periode. In de lange(en soms ook korte) droge periodes vallen de lokale drinkwaterbronnen droog waardoor de bewoners overstappen op een drinkwaterbron met een mindere kwaliteit.
2. Gering bewustzijn van de gezondheidsrisico's met betrekking tot pathogene organismen. Maag en/of darmontsteking wordt vaak niet gerelateerd aan slechte kwaliteit van het drinkwater. (Ook het bewaren van vis of vlees gaat vaak niet op een voldoende hygiënische manier).
3. Gebrek aan onderhoud en beheer. Ten eerste geldt dit voor de binnenlandbewoners die er vaak geen tijd voor hebben en/of er geen tegemoetkoming voor krijgen en/of over niet voldoende kennis beschikken. Ten tweede geldt het voor de betreffende organisaties vanuit de stad die vaak de controle missen door onder andere de slechte bereikbaarheid en infrastructuur naar de verschillende landelijke gebieden.
4. Vervuiling van het rivierwater als gevolg van de goudwinningen langs de rivier. In het gebied bovenstrooms van het Brokopondomeer langs de Suriname rivier vinden nog geen goudwinningen plaats. Hierdoor mag er vanuit gegaan worden dat er hier nog geen aantoonbare hoeveelheden kwik en andere zware metalen in het water te vinden zijn. Het is echter niet gegarandeerd dat dit ook zo zal blijven de komende jaren.

4.3 Probleemstelling

Er zijn verschillende methodes voorhanden om op eenvoudige wijze de drinkwaterkwaliteit te verbeteren, rekening houdende met de bovenstaande problemen. Naar aanleiding van de probleemanalyse verdient het aanbeveling om een systeem voor de verbetering van de drinkwaterkwaliteit te 'organiseren' dat weinig tot geen kosten en onderhoud nodig heeft, niet afhankelijk is van een enkel brontype, een begrijpelijke en tot de verbeelding sprekende werking heeft en daarnaast voldoet aan de wensen en behoeften van de mensen die het gaan gebruiken.

Er is een systeem, zie paragraaf 4.5 en afstudeerwerk Raheena Doekhie, in ontwikkeling dat aan deze eisen zou kunnen voldoen. Verschillende aspecten moeten ervan uitgewerkt worden zoals: de

technische werking (met als doel zuiver en bacteriologisch betrouwbaar drinkwater), de vormgeving (afgestemd op de omgeving waar het systeem geïmplementeerd zou worden), de sociale acceptatie (bereidheid van de mensen om het systeem te gebruiken ten behoeve van het welzijn) en het lokaal beschikbaar zijn van de verschillende onderdelen van het systeem (dit maakt het zelfvoorzienend wat de afhankelijkheid van de stad minimaliseert).

De doelstelling is als volgt:

De haalbaarheid en de mogelijke implementatie van een dergelijk systeem, waarbij er gekeken zal worden naar: het huidige drinkwatergebruik, de verschillende randvoorwaarden die het systeem succesvol zou kunnen maken, de meest optimale vormen van eventuele desinfectie en een inventarisatie van de huidige middelen voor het verkrijgen van drinkwater.

Het te ontwikkelen systeem zou de mensen in de binnenlanden op een eenvoudige en goedkope manier toegang kunnen verschaffen tot betrouwbaar drinkwater. Dit drinkwater zou te allen tijde beschikbaar moeten kunnen zijn.

Met behulp van de verkregen gegevens en de uitwerking ervan is het mogelijk om het te ontwerpen systeem zoveel mogelijk aan te passen op de gewenste omgeving. Daarnaast kunnen er berekeningen worden gemaakt ter verificatie van de benodigde hoeveelheden drinkwater en beschikbare bronnen.

4.3.1 Methoden van onderzoek

Informatie is op verschillende manieren verkregen. In Nederland is er vooronderzoek verricht naar de technische werking van het systeem die mogelijk implementeerbaar is. Daarnaast is er een volledig onderzoek gaande naar alle technische aspecten met betrekking tot de desinfectie. In Paramaribo is er op zoek gegaan naar de regengegevens en de zonintensiteitgegevens, deze gegevens zijn onmisbaar in de modelering naar de afdoding van pathogene micro-organismen welke in Nederland zal plaats vinden.

Veldonderzoek is van essentieel belang voor de volgende aspecten: De huidige drinkwatersituatie in de dorpen, de randvoorwaarden voor het systeem en de behoefte eraan van de mensen.

In de periode van 7 september tot 29 september is het binnenland bezocht. Het eerste dorp is tevens het meest bovenstroomse dorpencluster Kajana waarna achtereenvolgens Djoemoe, Botopasi en Laduani bezocht zijn.

4.4 Het Binnenland

4.4.1 Inleiding

Het binnenland van Suriname, het rurale gebied, vertoont veel tegenstellingen met het stedelijke gebied. Als gevolg van de slechte bereikbaarheid door de dichte bebossing en de dunbevolkte gebieden

ontbreekt het aan een degelijke (water)infrastructuur. Drinkwaterzuiveringen zijn in enkele dorpen aanwezig en het verzamelen van geproduceerd afvalwater gaat grotendeels met behulp van een sceptictank.

4.4.2 Geografie en demografie

Suriname is een land ter grootte van 163.270 km² en bestaat voor het overgrote deel uit tropisch regenwoud met een zeer hoog vochtigheidsgehalte. Het land is verdeeld in de kustzone, de 'Savannah Belt' en het binnenland. Ongeveer 80 tot 85% van het landoppervlak valt onder het binnenland. Het bewonersaantal ligt rond de 500.000 personen waarvan het overgrote deel in de steden in het kustgebied woont, het rurale gebied is dan ook zeer dun bevolkt.

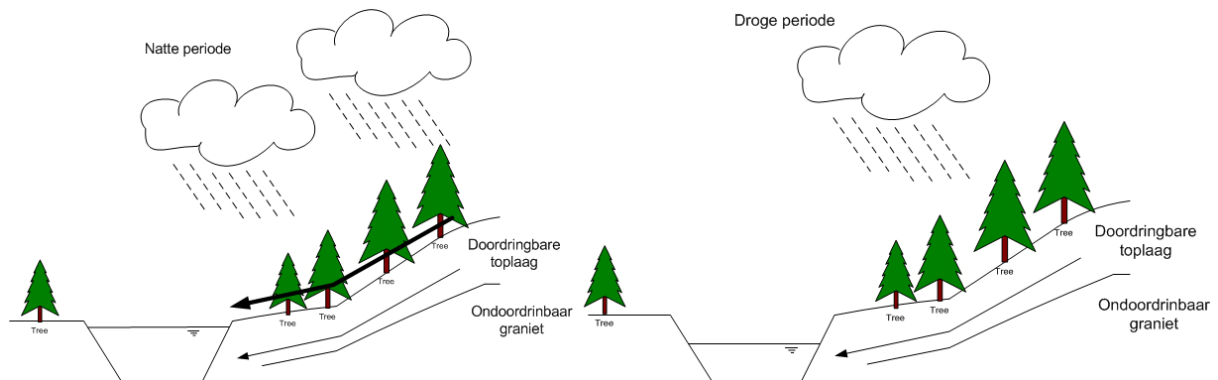
Door het binnenland stromen vier grote rivieren, de Commewijne Rivier, de Suriname Rivier, de Coppename rivier en de Nickerie rivier. Het rurale leven bevindt zich voornamelijk langs deze rivieren. Het klimaat is in heel Suriname tropisch en is op te delen in 2 droge periodes, een lange en een korte, en zo ook 2 natte periodes. De temperatuur kan hierbij variëren van 24 tot 32 °C. De droge periodes duren ongeveer van februari t/m maart (de korte droge periode) en van augustus t/m november (de lange droge periode). De natte periodes duren respectievelijk van april t/m juli (de lange natte periode) en van december t/m januari (de korte natte periode).^{17, 18}

4.4.2.1 Regengegevens

De Suriname rivier heeft een catchment area van 16.500 km² en een gemiddelde afvoer van 422 m³/s. In de droge periode zal het regenwater doordringen in de grond waarna het als oppervlakkig grondwater afstroomt naar de rivier, zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** In de regenperiode kan het dagelijks gedurende zeer lang tijd hard regenen. De grond raakt hierdoor volledig verzadigt, waardoor er veel regenwater via het oppervlak afstroomt. Dit water bevat zeer veel sediment en andere deeltjes die de rivier instromen en de troebelheid van het rivierwater ernstig doen verhogen.

¹⁷ US Army Corps of Engineers, Rapport betreffende Water in Suriname

¹⁸ Afstudeerverslag drinkwatersituatie in de binnenlanden van Suriname, Anton de Kom Universiteit Suriname



Figuur 32 Methodes van afstroming van regenwater in het Boven Suriname gebied

Van de verschillende dorpen zijn de regengegevens bekend, zie Figuur 27 en Figuur 28 op pagina 52 en 52.

4.4.2.2 Zonintensiteitgegevens

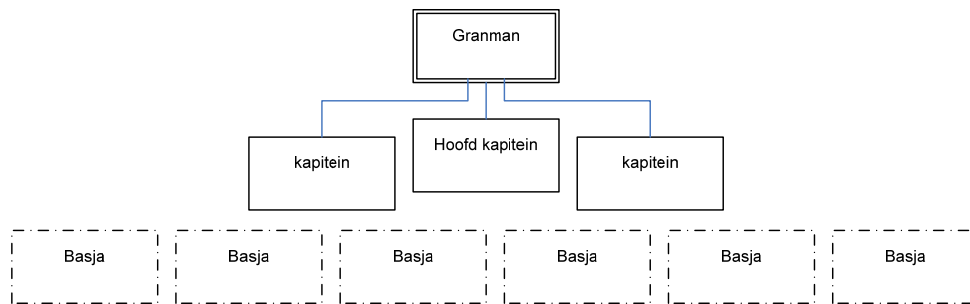
Het beschouwde gebied lag op 4° Noorderbreedte en 55° Westerlengte. De zon komt op om 6:30 en gaat onder om 6:38 in de onderzoeksperiode. Het gebied staat bekend om de schapwolken, die als gevolg van verschillende gebergtes in het binnenland, altijd goed zichtbaar zijn. Ook in de droge periode regent het vaak meer dan een keer per maand. Er kan dan gesteld worden dat in het Boven Suriname gebied de zon hoogstens 7 tot 8 uur lang zijn maximale intensiteit bezit. Dit geldt voor de droge periode. In de natte periode kan het zelfs dagen achtereen grijs zijn.

4.4.3 Drinkwatersituatie in de dorpen

Er zal achtereenvolgens een beeld gegeven worden van de drinkwatersituatie zoals die is aangetroffen in de dorpenclusters die bezocht zijn, te weten Kajana, Djoemoe, Botopasi en Laduani. Er zijn hiervoor steeds zoveel mogelijk verschillende dorpjes bezocht, waarbij er vooral gekeken is naar de drinkwatersituatie in de verschillende dorpen. Alle enigszins betrouwbare drinkwatertappunten zijn hierbij in beschouwing genomen. Van alle verschillende DURO-tanks en eventuele tappunten zijn de GPS-coördinaten genoteerd. Ook zijn veel verschillende mensen geïnterviewd met betrekking tot hun drinkwatergebruik en/of het drinkwatergebruik van het dorp.

Voor de Nationale Vrouwen Beweging is er ook gekeken naar het gebruik van de 2 verschillende recentelijk geïmplementeerde handmatige filters.

De drinkwatersituatie is ook afhankelijk van de sociale structuur in de dorpen en het gebied. De structuur in de dorpen is als volgt.



Figuur 33 Traditionele sociale structuur in Boven Suriname gebied

Aan het hoofd van het Boven Suriname gebied staat de Granman. De opvolger van de Granman zal altijd een familielid zijn en zal pas gekozen worden wanneer de Granman op sterven ligt. Onder de Granman staat de hoofdkapitein, hij fungeert als een soort burgemeester van het desbetreffende dorpencluster. Niet elk dorpencluster heeft een hoofdkapitein, sommige dorpen hebben alleen enkele kapiteins. De basja's fungeren als helpers en adviseurs van de verschillende kapiteins. Vanuit de overheid bestaat er ook een Bestuurs Opzichter (BO). Deze BO fungeert als schakel tussen de binnenlandbewoners en de regering, hij krijgt ook als een van de weinige betaald vanuit de overheid. De BO zorgt er ook voor dat de kapiteins en basja's ook via de staat betaald worden. Als binnenlandbewoners of organisaties van buitenaf iets willen ondernemen, gaat er altijd een hele procedure aan vooraf voordat er uiteindelijk toestemming wordt gegeven door de verschillende kapiteins of de Granman. Deze toestemming is een verplichting voordat men aan het werk kan beginnen. Het moge duidelijk zijn dat de verschillende kapiteins en 'basja's een bevoorrechte situatie hebben ten opzichte van andere dorpbewoners die geen enkele vorm van inkomen hebben.

4.4.3.1 Kajana

Kajana is het meest bovenstroomse dorpencluster aan de Suriname rivier. Het cluster bestaat uit de volgende dorpjes: Kajana, Kosindo, Deboo, Godawatra I en II, Stonhoekoe, Begron, Ligorio, Bendiwatra en Kruntunting. De volkstelling voor de verschillende dorpen van het cluster is als volgt, zie Tabel 15 Resultaat volkstelling 2004 in Kajana cluster, bron: Algemeen Bureau voor de Statistiek Suriname. Het betreft een volkstelling uit 2004. Deze was bij de Bestuurs Opzichter van het dorp aanwezig.

Kajana cluster	
Begron	47
Bendiwatra	41
Deboo	16
Godawatra	100
Godowatra II	30
Kajana	301
Kruntunting	15
Ligorio	99
Stonhoekoe	203

Tabel 15 Resultaat volkstelling 2004 in Kajana cluster, bron: Algemeen Bureau voor de Statistiek Suriname

Alle dorpen zijn bezocht, het was duidelijk te zien te het ene dorpje 'rijker' was dan andere dorpjes. Deze rijkere dorpen beschikte dan ook over een enigszins betere drinkwatervoorziening in de vorm van meerdere en beter aangesloten DURO-tanks, zie Figuur 34.



Figuur 34 Impressies drinkwatersituatie Boven Suriname gebied

Na verscheidene mensen geïnterviewd en de situatie aanschouwd te hebben is enigszins duidelijk geworden hoe de mensen over hun drinkwater denken. In de regenperiode en in de droge periode wanneer het beschikbaar is gebruikt men zoveel mogelijk regenwater. Dit betekent dus dat er geen regenwater 'gespaard' wordt om de droge periode te kunnen overbruggen. In dit dorpen cluster waren er echter maar een aantal geschikte 'huisjes' voor het opvangen van regenwater. Zo beschikte de meeste huisjes niet over een golfplatendak, maar over een palmladerendak, waarbij het dak tot ongeveer een meter boven de grond reikte, zie Figuur 34. Sommige huisjes die wel over een geschikt dak beschikte, hadden vaak weer geen goede dakgoot maar een erg geïmproviseerd opvangsysteem dat niet optimaal werkte, zie Figuur 34. Er was dan ook geen enkele DURO-tank die goed vol zat en dat terwijl het toch dagelijks regende.

De scholen, de huizen van leraren en de polikliniek waren allemaal zeer goed uitgerust met uitstekende dakgoten en zeer grote tanks. Deze zijn gebouwd in opdracht van de Evangelische Broeder Gemeenschap. Het opvangen water van de school (6*200 gallon) wordt gebruikt als drinkwater voor de kinderen tijdens schooluren en om het toilet bij de school mee door te spoelen.

Naast het regenwater gebruiken de mensen ook graag de kreek als drinkwaterbron, zie Figuur 34. Dit water was zeer helder, uit de experimenten van Projectgroep Suriname 2006 bleek dat het kreekwater van bacteriologisch betrouwbare kwaliteit was. Na een aantal ferme slokken is dit proefondervindelijk bevestigd. Alvorens het kreekwater te consumeren moeten de mensen er wel op letten dat er geen mensen bovenstrooms bezig zijn te wassen, of iets dergelijks. In de buurt van het gebied zijn verscheidene krekken op loop afstand. Er wordt geschat dat tussen december en maart/april de krekken rondom Kajana zo goed als droog liggen. Deze periode wordt overwegend overlapt door een korte natte en een korte droge periode. Als er geen regen- en kreekwater beschikbaar is wordt er ook wel

rivierwater gedronken. Wat er ook gebeurt, is dat men een gat graaft op de plek waar normaalgesproken de kreek stroomt, en van daaruit het oppervlakkige grondwater opschept.

Er worden niet veel klachten opgevangen over de kwaliteit van het water dat ze drinken. Dit heeft ook te maken met het feit dat ze zich niet geheel bewust zijn van de correlatie tussen diarree en slecht drinkwater. Ze vinden het allereerst ongemakkelijk dat ze niet ,net als in Djoemoe, gewoon een kraan vlakbij hun hut hebben.

Ook in Kajana zijn er door verschillende organisaties drinkwaterapplicaties geïmplementeerd. Zo zijn er door de PAHO (Pan American Health Organization) na de overstromingsramp van mei 2006 vijftien DURO-tanks verdeeld over het dorpencluster. Er ontbreekt echter bij bijna elke tank afkomstig van de PAHO een kraantje, een dakgoot en/of een deksel, zie Figuur 35. Bij de binnenlandbewoners ontbreekt het aan de tijd, de kennis en het bewustzijn van het belang van deze gebreken, wat er voor zorgt dat de PAHO tanks waarschijnlijk nooit volledig in gebruik genomen zullen worden.



Figuur 35 Impressies verstrekte drinkwatersystemen van verschillende organisaties

De twee handmatige filters waarvan de Nationale Vrouwen Beweging een onderzoekje aangevraagd had, zijn ook verscheidene malen gezien. Het filter van Figuur 35 is een handmatig filter dat eenvoudig mee te nemen is. Volgens de hoofdkapitein en de BO werd dat filter daarom ook vooral door de mannen gebruikt wanneer deze gingen jagen in het bos. Het binddraadje om de witte slang bewijst echter het tegenovergestelde, dit filter is nog nooit gebruikt. Later is dit filter nog één keer gezien als persoonlijk in gebruik genomen filter in het huis van de BO.

Het grotere kokervormige filter van Figuur 35 werd, volgens de kapitein en de BO, veel door de vrouwen gebruikt. Het filter stond volgens hen dan ook op verschillende centrale plekken in het dorp, zodat het voor een ieder redelijk toegankelijk is. Na het interviewen van verschillende vrouwen werd echter snel duidelijk dat ook hier niets van klopte. De filter op de foto is namelijk de enige die uitgepakt en geïnstalleerd is. De algemene klacht over dit filter was dat het te langzaam werkt. Per keer kan het filter 8 liter water verwerken, wat vaak meer dan een uur duurt en daar hebben de vrouwen geen tijd voor.

In het dorpencluster van Kajana was het heel duidelijk dat het dorp staande gehouden werd door de vrouwen. Mannen waren er weinig te zien, zij waren of in de stad om te werken, of waren aan het jagen in het bos. De vrouwen zorgen ervoor dat alle kinderen en zichzelf voldoende eten en drinken hebben. Dit moet allemaal gebeuren voor half zeven, want dan is het al donker.

4.4.3.2 Djoemoe

Het dorpencluster Djoemoe ligt ongeveer 24 km benedenstrooms van Kajana. Het bestaat uit dertien dorpen met een totaal bewonersaantal van ongeveer 4.340 inwoners. Een hele betrouwbare volkstelling was ter plekke niet aanwezig of verkrijgbaar, ook in Paramaribo is dit na herhaaldelijk verzoek bij verschillende instanties niet verkregen. De uiteindelijk verkregen inwoneraantallen zijn te vinden in Bijlage H: Demografie in Boven Suriname Gebied.

De dorpen Asubaso, Akisamao, Asidinhopo, Bendekondre, Johankondre, Palulubasu, Godo, Solan en Djoemoe zijn bezocht.

De zuiveringen

Er zijn, in samenwerking met Waternet, drie dorpen (Bendekondre, Asidinhopo en Akisamao) voorzien van een drinkwaterzuivering. Deze drinkwaterzuivering bestaat uit: een beluchter → een snelfilter → een langzaam zandfilter → UV-desinfectie. Meerdere tappunten zijn aanwezig in de dorpen Bendekondre, Asubasou, Djoemoe, Asidinhopo en Akisamao. Deze tappunten staan er in de vorm van wasbakken, drinkwaterkranen, toiletten en douches, zie Figuur 36 Impressies functioneren zuiveringen rondom Djoemoe. Veel drinkwaterkranen en kranen van wasbakken waren gesneuveld. Een mogelijke oorzaak hiervan is de ongekeerde spierkracht van de vrouwen in combinatie met kwaliteit van de gebruikte kranen. Van enkele toiletten en douches waren de deuren afgesloten. Volgens onze gids Gaga was dit omdat mensen ruzie kregen over het onderhoud ervan. Voor het onderhoud was geen verantwoordelijke aangesteld. Ook kreeg niemand er een vergoeding voor, met als gevolg dat de douches en toiletten, na bezoekbeurten, ongediende aantrok. Dit ongediende ging zich al spoedig verplaatsen naar de voedselopslagplaatsen met alle gevolgen van dien. Uit onvrede zijn enkele deuren dan ook vergrendeld.



Figuur 36 Impressies functioneren zuiveringen rondom Djoemoe

De drinkwaterzuiveringen zijn zeer solide opgesteld. De techniek is echter vaak ingewikkelder dan de dorpsverantwoordelijke voor de zuivering kan beheren. Na een bezoek aan de verschillende zuiveringen werd al snel duidelijk dat een aantal onderdelen niet optimaal werkte. Het water afkomstig van Bendekondre en Asindinhopo was niet volledig helder van kleur, zie rechts in Figuur 36 Impressies functioneren zuiveringen rondom Djoemoe. Volgens de dorpsverantwoordelijke was de oorzaak hiervoor dat ze net het langzame zandfilter schoongemaakt hadden. Bij deze beide zuiveringen was ook de UV-desinfectie volledig buiten werking, zie midden Figuur 36. Drie maanden na de opening van de zuivering zou een bepaald onderdeel al doorgebrand zijn. Er moet echter niet uitgesloten worden dat het defect ook toegeschreven kan worden aan gebrek aan kennis en onderhoud. Een eerder gebrek bleek pas na consultatie met Nederland simpel op te lossen door een onderdeel een kwartslag te draaien. Dit had echter wel voor een lange periode van niet functioneren gezorgd.

De zuivering in Akisamao vertoonde op het eerste gezicht geen defect, ook waren de mensen in het dorp meer tevreden over het getapte water.

In Djoemoe is de hoofdzuster geïnformeerd naar een eventuele daling in het aantal diarreegevallen na de implementatie van de zuivering. Dit was lastig te bevestigen, ook omdat de oorzaak van diaree lang niet altijd aan het water lag. Andere te noemen oorzaken waren dat het eten (waaronder vaak ook vis) niet goed geconserveerd wordt. Ook willen vrouwen vaak geen borstvoeding meer geven, waardoor ze gewezen worden op babyvoeding. Volgens de hoofdzuster wordt deze babyvoeding vaak met veel te weinig water aangelengd, waardoor baby's last van hun buik krijgen. Daarnaast was het aantal diaree gevallen lang niet schrijnend.

De dorpen waar geen drinkwatertappunten aanwezig waren, werden na mei 2006 ook voorzien van meerdere kokervormige filters van Figuur 35. Deze stonden echter allemaal nog in de verpakking in een soort opslagruimte. Ook hier gaven de bewoners te kennen dat het teveel tijd kostte. De vrouwen hadden het te druk met het onderhouden van het kostgrondje en de vaak vele kinderen. De mannen hielden zich niet bezig met het verzamelen van water. De PAHO had ook in diezelfde periode meerdere DURO-tanks gedoneerd. Deze tanks waren vaak voorzien van een degelijke bijbehorende standaard dakgoot, kraantje en deksel en waren een stuk beter aangesloten dan in de dorpen rond Kajana. De tanks waren ook vaker redelijk vol, hoewel de dakgoten wel aan de korte kant zijn. De mensen in de dorpen zonder zuivering gingen vergelijkbaar met drinkwater om als in Kajana.

In het dorpje Semoisi werd er een zuivering gebouwd door het Community Development Fund of Suriname (CDFS). Deze zuivering zou bestaan uit een drukfilter en een chlorering en in de loop van het jaar klaar zijn.

De dorpjes Godo, Ganiakondre en Solan waren ongeveer 20 jaar geleden voorzien van een langzaam zandfilter en een distributiesysteem met meerdere tappunten. Dit systeem is slechts enkele jaren in bedrijf geweest, waarna het in verval raakte en nooit meer is opgeknapt. Nu zijn deze dorpen weer aangewezen op het gebruik van DURO-tanks en kreekwater als meest betrouwbare drinkwaterbron.

De binnenlandbewoners zelf beweren niet ziek te worden van het regenwater. Als ze na het regenwater en/of kreekwater overstappen op rivierwater krijgen ze vaak last van hun maag. Na enkele dagen zijn ze daar ook aan gewend en verdwijnen de maagklachten.

4.4.3.3 Botopasi

Botopasi is een zeer uitgebreid en groot dorpencluster bestaande uit ongeveer 17 dorpen. Vier dorpen in de buurt van Botopasi (inclusief Botopasi zelf) zijn bezocht. Het was duidelijk te zien dat Botopasi al meer invloeden heeft van de stad dan Kajana, daarnaast waren de vrouwen hier goed georganiseerd

De zuiveringen

In Botopasi stonden zeer veel tappunten in het dorp. Dit waren de overblijfselen van een oud project dat nooit is afgemaakt. Nu kwam er af en toe rivierwater uit de tappunten. De PAHO was bezig met de opbouw van een nieuwe zuivering in Botopasi, zie Figuur 37. Deze zuivering zal bestaan uit het oppompen van rivierwater → een drukfilter → chlorering. Ook het distributiesysteem zullen ze vernieuwen. Te zien is in figuur dat het project al enige uitloop heeft.



Figuur 37 Projectbord van bouw nieuwe zuivering Botopasi

De huidige drinkwatersituatie in Botopasi was vergeleken met de voorgaande dorpen al beter. Het dorp is in het bezit van een redelijke hoeveelheid persoonlijke DURO-tanks die bijna allemaal goed aangesloten en afgesloten zijn. De PAHO heeft hier geen DURO-tanks uitgedeeld, hetzelfde geldt voor de handmatige filters. Dit is uiteraard het gevolg van de rehabilitatie van de drinkwatervoorziening. De vrouwen gaven zelf te kennen dat ze liever regenwater gebruikte indien beschikbaar dan kreekwater omdat ze voor regenwater niet hoeven te lopen. Als er geen regenwater beschikbaar is halen de vrouwen vaak een grote emmer drinkwater bij de kreek die enkele tot enkele tientallen minuten lopen is. Deze kreek zou volgens hen dan ook bijna nooit droog staan.

Er wordt vanuit gegaan dat de kreek wel eens droog staat, vooral in de grote droge periode. Waarschijnlijk zullen ze dan net als in de andere dorpen gaten graven op de plek van de kreek en/of rivierwater wat ze al dan niet zullen koken. Hetzelfde geldt voor de andere dorpen in het cluster benedenstroom van Botopasi.

Enkele kilometers benedenstrooms van Botopasi zijn de dorpen Debikeh, Foetoenakaba en Pikin slee bezocht. Debikeh is de dokterspost van het dorpen, hier wonen de dokters en de verpleegsters. Het dorp ziet er zeer solide en goed verzorgt uit, net als de drinkwatersituatie. Grote huizen met grote daken vangen al het regenwater op dat op de daken valt. In de voorgaande dorpen waren de dakgootjes vaak erg klein ten opzichte van het dak en de DURO-tank. De DURO-tanks hadden vaak ook voldoende capaciteit om veel regenwater voor langere periode op te slaan.

In dit dorp is tevens gesproken met de Cubaanse hoofdarts over de ziektes in het dorpen. Ook hij ontkende dat er sprake is van veel diarreegevallen. De diarreegevallen waren vaak mensen met een verminderde weerstand zoals baby's en kleine kinderen. Andere ziektes die veel meer voorkwamen waren griep en longontsteking. De dokter adviseerde vrouwen met kleine kinderen en baby's om het water te koken of het gedurende enkele uren in een petfles bloot te stellen aan zonlicht.

Het dorpje Foetoenakaba lag nog enkele kilometers benedenstrooms van Debikeh. Het betrof een redelijk klein dorp dat er goed georganiseerd uitzag. De PAHO had hier negen DURO-tanks geïnstalleerd. Deze DURO-tanks waren voorzien van een goed kraantje, goede deksel en wederom een veel te korte dakgoot. Het was duidelijk dat de PAHO voor elke tank kant-en-klare dakgoten had à 3-4 meter. Grote daken werden dus niet optimaal benut.

Nog enkele kilometers benedenstrooms lag het grote dorp Pikin Slee. Hier woonde enkele duizenden inwoners. Ze kregen, vergeleken met de andere dorpen, weinig hulp van buitenaf. Het dorp bestond uit verschillende wijken, de ene beter dan de andere. De betere wijken hadden dan ook meer en beter aangesloten DURO-tanks dan de mindere wijken.

4.4.3.4 Laduani

Het dorpencluster van Laduani bestaat uit de dorpen Nieuw Aurora, Tjalikondre, Gunzi, Adawai en Lispalansi waarvan de dorpen Nieuw Aurora, Tjalikondre en Gunzi bezocht zijn. De volkstelling van het clusterdorp Laduani is als in Tabel 16 Resultaat volkstelling Laduani cluster 2006, bron: Algemeen Bureau voor de Statistiek Suriname.

Laduani cluster	
Laduani	15
Nieuw Aurora	1.785
Tjalikondre	366
Gunzi	100

Tabel 16 Resultaat volkstelling Laduani cluster 2006, bron: Algemeen Bureau voor de Statistiek Suriname

Laduani is de dokterspost van het clusterdorp, hier wonen slechts enkele verpleegsters. Nieuw Aurora is in twee delen opgesplitst, ertussenin ligt Tjalikondre. Vooral in Nieuw Aurora zijn redelijk wat invloeden van de stad te merken. In de drinkwatersituatie is dit echter niet terug te vinden. In Nieuw Aurora waren twintig PAHO tanks geïnstalleerd, ook waren er enkele handmatige kokervormige filters te vinden. Deze filters stonden met dezelfde reden als elders nog in de verpakking. Globaal gezien verschilde de

drinkwatersituatie niet noemenswaardig van die in Botopasi behalve dan dat het er minder verzorgd uitzag.

Het daadwerkelijk aantal aangetroffen DURO-tanks van de PAHO lag rond de vijftien stuks, inclusief die in Tjalikondre. Nieuw Aurora had ook betere en mindere wijken. De betere wijken waren beter voorzien van DURO-tanks, vaak meerdere per woning en de tanks waren beter aangesloten. In het dorpje Gunzi, wat tevens als toeristenoord fungeert, wordt er onder andere namens het CDFS gebouwd aan een drinkwaterzuivering en sanitatie in de vorm van wasbakken en toiletten, zie Figuur 38.



Figuur 38 Impressies bouw drinkwater en sanitatie in Gunzi

Een andere opmerkelijkheid was dat naarmate je stroomafwaarts ging vanaf Kajana dat het aantal golfplaatdaken enorm toeneemt. Deze daken zijn geschikt voor het opvangen van regenwater en het SODIS systeem wat in alinea 4.5 op pagina 75 aan de orde komt.

4.4.3.5 Conclusie veldwerk

Uit de beschrijving van de dorpen kunnen enkele belangrijke randvoorwaarden bepaald worden die nodig zijn om een drinkwatersysteem dat voldoet aan de doelstelling te kunnen laten slagen. Hiervoor is ook gekeken naar de mentaliteit van de mensen, de onderlinge verhoudingen tussen man en vrouw, de taken van vrouw (die in dit aspect zo belangrijk zijn) en het klimaat. Deze randvoorwaarden zijn naar aanleiding van het voorgaande als volgt gedefinieerd:

1. De verschillende onderdelen moeten lokaal beschikbaar zijn
2. Het systeem moet (zoveel mogelijk) onderhoudsvrij zijn
3. Het moet robuust zijn in gebruik en indien nodig de mogelijkheid om het lokaal te repareren
4. De kosten moeten tot een minimum beperkt blijven
5. Er moet binnen het dorp een verantwoordelijke voor het systeem aangesteld zijn, tegen een bepaalde vergoeding
6. De werking van het systeem moet begrijpelijk zijn, zodat ze zelf van een gevolg de oorzaak kunnen vinden
7. De gebruikers moeten zich zelf bewust zijn van het probleem, en dit ook als een probleem ervaren (als dat noodzakelijk is)
8. Het drinkwater moet snel en in voldoende mate beschikbaar zijn

9. Het mag geen extra tijd kosten om te gebruiken ten opzichte van de huidige drinkwaterbron
10. Het drinkwater moet onder alle omstandigheden betrouwbaar zijn

4.5 Omschrijving systeem

Op de TU Delft is er een onderzoek gaande naar een systeem dat zorgt voor een multibarrier desinfectie van het regenwater. Als is gebleken dat deze desinfectie zo betrouwbaar is zou er zelfs voor kunnen worden gekozen, indien er geen regenwater beschikbaar is, om rivierwater door de desinfectie te leiden.

Er volgt een korte omschrijving van het systeem, alvorens zullen de randvoorwaarden behandeld worden waar een dergelijk systeem aan zal moeten voldoen om in situ als een goed werkend en duurzaam systeem aan zal moeten voldoen.

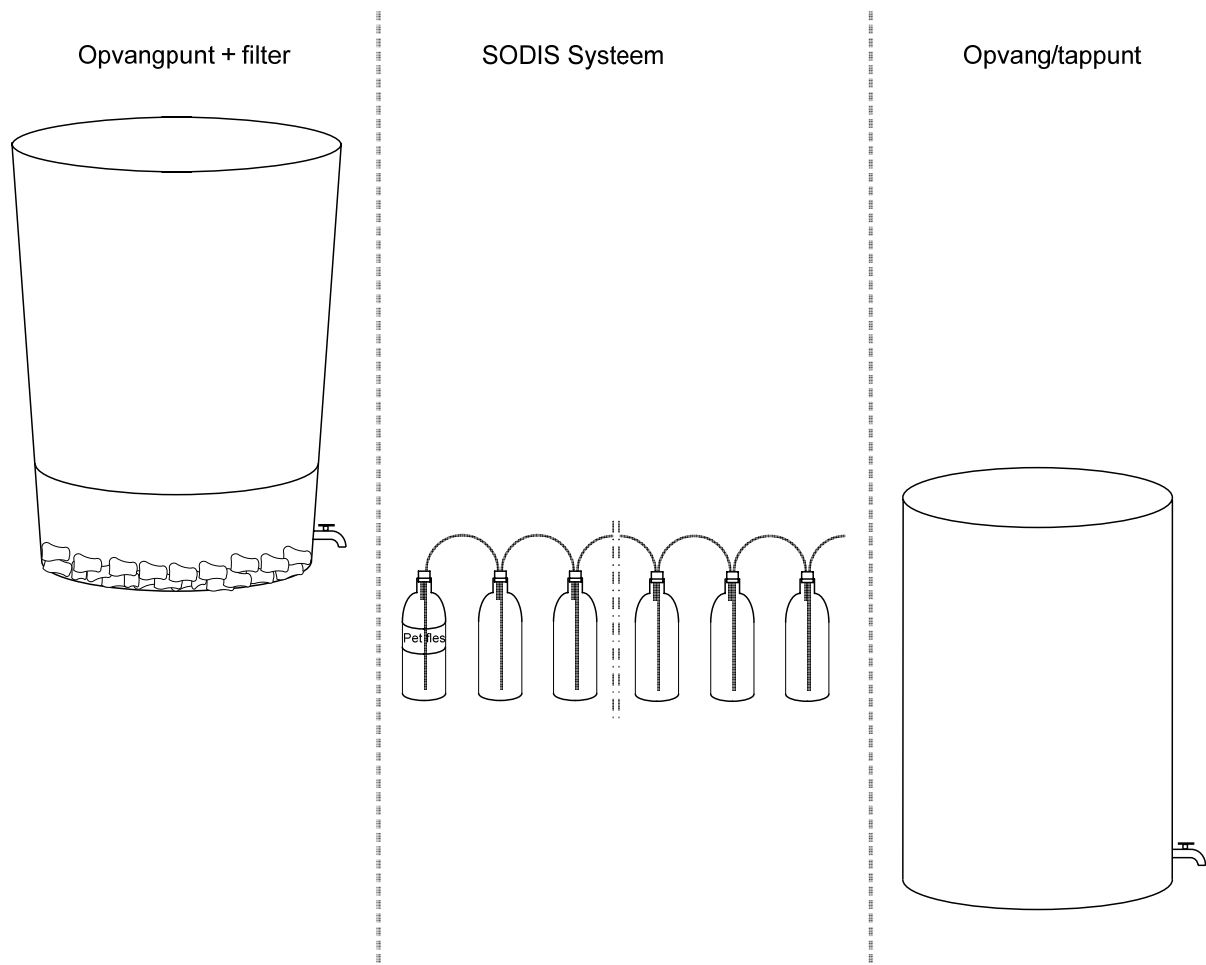
Het systeem zal bestaan uit een vorm van langzaam zandfiltratie en UV-desinfectie. Er is voor deze vormen gekozen omdat ze lokaal in overvloed geheel gratis en vrijblijvend aanwezig zijn.

Om aan een eenvoudige doch betrouwbare manier het water te desinfecteren is er gekozen voor het SODIS-systeem, wat gebaseerd is op UV-desinfectie. Helder regen- of rivierwater laat je in een pet fles lopen (lokaal beschikbaar, praktisch gratis en duurzaam). Deze fles wordt vier tot acht uur in de zon gelegd en het water ondergaat een desinfectie, voor de verdere theorie achter UV-desinfectie zie paragraaf 4.5.1 op pagina 77.

De tweede component is een langzaam zandfilter. De werking van een langzaam zandfilter wordt niet verder toegelicht. Voor meer informatie kan ieder standaardwerk over drinkwater geraadpleegd worden. Het is mogelijk om van een beschikbare DURO-tank een langzaam zandfilter te maken. Hiertoe wordt een laag van ongeveer 20 cm fijn zand uit de rivier in de DURO-tank gestort. Naast deze laag fijn zand is het ook van essentieel belang dat er zich een drainage systeem onder deze zandlaag bevindt om het gefilterde water af te kunnen voeren. Een langzaam zandfilter fungeert niet alleen om te desinfecteren maar ook om deeltjes en andere onzuiverheden af te vangen of om te zetten zodat water meer helder wordt en/of de kleur verbeterd en zo ook de kwaliteit.

Als deze beide vormen van desinfectie in serie worden bevestigd is er sprake van een multibarrier systeem. Het is ideaal om het langzame zandfilter voor het UV-desinfectie systeem te plaatsen zodat het water, indien nodig, de benodigde helderheid verkrijgt welke nodig is voor de UV-desinfectie.

Het gecombineerde systeem kan er uitzien als Figuur 39.



Figuur 39 Gecombineerd systeem van langzaam zandfiltratie en het SODIS-systeem

In de randvoorwaarden is gesteld dat de bewoners zelf geen tijd hebben om extra handelingen toe te voegen aan de desinfectie. In deze configuratie is er dan ook voor gekozen om de flessen in een continu systeem aan elkaar te koppelen, de uitwerking hiervan is gegeven in de bijlage.

In situatie van nood kan er ook altijd voor gekozen worden om er een batch systeem van te maken, dus zelf per keer een fles vullen en deze in de zon leggen, deze configuratie wordt verder buiten beschouwing gelaten.

Er ontstaan bij deze configuratie echter enkele knelpunten. De overgangen van het regen opvangpunt naar het SODIS-systeem en de overgang van het SODIS-systeem naar het opvang/tappunt, in deze overgangen moet de druk onder natuurlijk verval behouden blijven, er mogen niet teveel onderdelen aan te pas komen (meer onderdelen hebben meer onderhoud nodig) en het SODIS-systeem moet volledig vrij in de zon zijn gelegen. Een golfplaten dakje zou een ideale ligplaats zijn voor dit SODIS-systeem, dit laat de hydraulische lijn alleen niet toe.

Voor de exacte configuratie van het systeem zal dan ook nog het nodige onderzoek gedaan worden, ook dit zal verder toegelicht worden in het afstudeerwerk van Raheena Doekhie aan de TU Delft.

Voor de randvoorwaarden van het systeem, de UV-desinfectie werking en een inventarisatie van hoeveelheden, zal hier verder onderzocht en toegelicht worden.

4.5.1 Theorie UV-desinfectie^{19, 20 en 21}

In de binnenlanden van Suriname is er geen gebrek aan zoet water. Dit zoete water komt in verschillende vormen voor zoals oppervlaktewater (rivier- en kreekwater), regenwater en afhankelijk van de plek ook grondwater. Het water dat nu geconsumeerd wordt (regenwater, kreekwater en rivierwater) is vaak niet 100% bacteriologisch betrouwbaar. Ook is het niet vanzelfsprekend dat er een drinkwaterbron (als regenwater en kreekwater) bij elk huishouden aanwezig is. Een slechtere waterkwaliteit wordt redelijk eenvoudig geaccepteerd als er niet een betere direct voor handen is. De binnenlandbewoners willen een kraan bij hun onderkomen waar altijd voldoende en bacteriologisch betrouwbaar drinkwater uitkomt.

¹⁹ Dijk, van, Drinking water, water treatment technology, 2006

²⁰ www.wikipedia.nl, zoektermen UV, desinfectie en varianten, augustus 2007

²¹ www.lentech.com/uv_desinfectie.htm, augustus 2007

Table 1-3. Primary Drinking Water Regulations Related to Disinfection Byproducts

Compound	MCLG (mg/L)	MCL (mg/L)	Potential Health Effects	Sources of Drinking Water Contamination
Bromate	Zero ³	0.010 ⁴	Cancer	Ozonation byproduct
Bromodichloromethane	Zero ³	see TTHMs	Cancer, liver, kidney, and reproductive effects	Drinking water chlorination and chloramination byproduct
Bromoform	Zero ³	see TTHMs	Cancer, nervous system, liver and kidney effects	Drinking water ozonation, chloramination, and chlorination byproduct
Chlorite	0.8 ³	1.0 ⁴	Hemolytic anemia	Chlorine dioxide disinfection byproduct
Chloroform	Zero ³	see TTHMs	Cancer, liver, kidney, reproductive effects	Drinking water chlorination and chloramination byproduct
Dibromochloromethane	0.06 ³	see TTHMs	Nervous system, liver, kidney, reproductive effects	Drinking water chlorination and chloramination byproduct
Dichloroacetic Acid	Zero ³	See HAA5	Cancer and other effects	Drinking water chlorination and chloramination byproduct
Haloacetic Acids ¹ (HAA5)	N/A	0.060 ⁴	Cancer and other effects	Drinking water chlorination and chloramination byproduct
Trichloroacetic Acid	0.3 ³	See HAA5	Possibly cancer and reproductive effects	Drinking water chlorination and chloramination byproduct
Total Trihalomethanes ² (TTHMs)	N/A	0.08 ⁴	Cancer and other effects	Drinking water chlorination and chloramination byproduct

Source: 63 FR 69390 (12/16/98)

¹ HAA5 is the sum of the concentrations of mono-, di-, and trichloroacetic acids and mono- and dibromoacetic acids.

² Total Trihalomethanes are the sum of the concentrations of bromodichloromethane, dibromochloromethane, bromoform, and chloroform.

³ Finalized on December 16, 1998 (63 FR 69390) as established in 40 CFR §141.53.

⁴ Finalized on December 16, 1998 (63 FR 69390) as established in 40 CFR §141.64

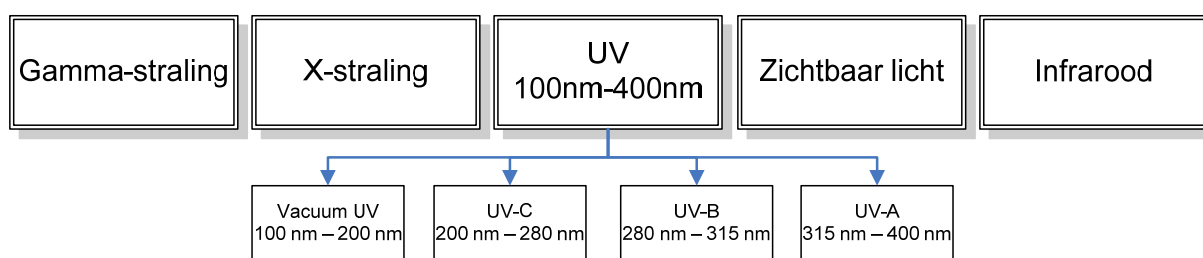
Tabel 17 Drinkwaternormen voor vervuilingen

Er zijn verschillende manieren om het water te desinfecteren zoals chemische desinfectie met chloor en chloordioxide, UV-desinfectie en Ozonisatie. Sommige vormen van desinfectie vormen zogenaamde schadelijke DBP's (Disinfection By Products), de hoeveelheid DBP's is hierbij afhankelijk van de waterkwaliteit, de voorgaande zuiveringsstappen, de contacttijd en fysische factoren zoals de PH en de temperatuur. De keuze van desinfectie is afhankelijk van het doel (inactiveren van pathogene organismen voor drinkwaterkwaliteit), de beschikbare middelen en de vrijgekomen DBP's.

Met UV-desinfectie wordt de kleinste hoeveelheid DBP's gevormd, zie Tabel 17 Drinkwaternormen voor vervuilingenvoor schadelijk vrijgekomen stoffen bij de verschillende vormen van desinfectie. UV-desinfectie is bij lage straling zeer effectief tegen bacteriën en virussen, het is echter pas bij hoge straling actief tegen Cryptosporidium en Giardia. UV-desinfectie is ook gebonden aan enkele randvoorwaarden, zo moet het te desinfecteren water helder zijn (<30 NTU) en het debiet is aan een maximum gebonden. Toch is UV-desinfectie een zeer geschikte methode voor in de binnenlanden van Suriname. Alle middelen voor een dergelijke vorm van desinfectie zijn er aanwezig, de zon met z'n maximale stralingsintensiteit en een medium om het water in te bestralen. Als medium kan een Pet fles goed fungeren, de UV wordt namelijk niet tegengehouden door het plastic van de fles.

UV-straling wordt in het water geabsorbeerd of gereflecteerd met als gevolg dat er zich geen DBP's in het water vormen. In de binnenlanden van Suriname zou het water na de UV-desinfectie zonder distributie geconsumeerd worden. Zou er echter nog wel een vorm van distributie plaatsvinden dan zou er bijvoorbeeld een chloor toevoeging plaats moeten vinden om nagroei in de leidingen tegen te gaan.

De straling vacuum UV, zie Tabel 17, is zeer effectief in het desinfecteren van micro-organismen, deze straling verzwakt echter zeer snel binnen een hele korte afstand in het water, dit maakt het niet de geschikte desinfecterende straling. UV-C en UV-B zijn de meest werkzame straling voor desinfectie, waarbij het optimum ligt rond 254 nm. De desinfecterende werking van UV-A is relatief klein ten opzichte van UV-C en UV-B. De straling die de aarde bereikt is vooral UV-A en een beetje UV-B, om toch een voldoende desinfecterende werking te hebben zal het water dan ook gedurende langere tijd (in de orde van enkele uren) blootgesteld moeten worden aan het zonlicht. Sommige plekken op de aarde waarboven de ozonlaag dunner is zal meer UV straling de aarde bereiken. Ook de zonkracht is van invloed op de hoeveelheid UV. In Nederland is de zon tussen de maanden mei en augustus duidelijk krachtiger dan de andere maanden. In de Suriname is dat verschil minder duidelijk, de zon staat hier ongeveer gedurende het hele jaar recht boven het land, wat de zonkracht redelijk constant maakt met tussen 11:00 en 15:00 het krachtigst (als bewolking niet in rekening wordt genomen).



Figuur 40 Diversen vormen van UV stralingen in het volledige spectrum van stralingen

4.5.2 UV-dose^{22, 23}

De mate van het inactiveren van pathogene micro-organismen is afhankelijk van de hoeveelheid UV straling, de zogenaamde UV-dose. De UV-dose is een maat voor de energie per eenheid oppervlak en heeft een lineair verband tussen de zonintensiteit en de tijdsduur:

$$D = I \cdot t$$

waarin

²² Dijk, van, Drinking water, water treatment technology 2006

²³ www.lentech.com/uv_desinfectie.htm, augustus 2007

D = UV Dose, $\text{mW} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$

I = Intensiteit, mW/cm^2

t = Tijdsduur van blootstelling, s

De benodigde UV straling voor een voldoende betrouwbare (voor het benodigde doel van) desinfectie wordt bepaald door de fysische omstandigheden ter plekke, de waterkwaliteit en de benodigde mate van desinfectie. Bacteriën en virussen hebben betrekkelijk weinig straling nodig, bij $2\text{--}6 \text{ mW} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ vindt er al een desinfectie plaats van 1-log. Protozoa en bacteriën als Giardia hebben tegen de 80 nodig voor 1-log desinfectie. Bij het meteorologische dienst van Suriname in Paramaribo is het uiteindelijk gelukt om zonintensiteit gegevens te vinden, ze zijn gegeven in Tabel 18.

maand	zon uren [h]	zon intensiteit [MJ/m2]
jan	98.79	209.42
feb	120.83	269.82
maart	111.10	220.72
april	71.73	140.18
mei	91.64	200.61
juni	138.65	309.44
juli	156.22	352.72
aug	159.29	372.30
sept	204.04	459.01
okt	232.40	546.89
nov	183.25	428.99
dec	135.91	302.88

Tabel 18 Zonintensiteit in 2006 in Paramaribo, bron: Meteorologische Dienst Suriname

De hoeveelheid overgebleven pathogene micro-organismen na UV-bestraling kunnen berekend worden met behulp van de volgende formule, de waarde hiervan blijkt niet afhankelijk te zijn van de beginwaarde, de hoeveelheid pathogene organismen op $t=0$.

$$N = f \cdot D^n \quad \text{waarin}$$

N = Dichtheid coliformen effluent, /100ml

D = UV Dose, $\text{mW} \times \text{s}/\text{cm}^2$

n = Coefficient gerelateerd aan de dosis

f = Waterkwaliteitsfactor

De waterkwaliteitsfactor is onder andere afhankelijk van de hoeveelheid deeltjes in het water en de kleur en is dan ook een functie van de turbiditeit en het absorptievermogen.

De pH van het water heeft geen invloed op de UV-desinfectie.

4.5.3 Het UV-inactiveringsmechanisme^{24, 25}

UV-desinfectie is een fysisch proces dat geen overblijvende stoffen achterlaat. Het heeft wel een bepaalde contacttijd nodig, afhankelijk van de lichtintensiteit, om de pathogene organismen te de-activeren. De werking van UV ligt hem in het fotochemisch beschadigen van het DNA en RNA binnenin de micro-organismen. DNA en RNA bezittende genetische informatie welke onmisbaar is voor de celvermeerdering van deze micro-organismen. De micro-organismen worden als het ware onvruchtbaar. Een enkele cel die nog wel in staat is te delen zal een onvruchtbare cel krijgen.

Sommige micro-organismen zijn onder bepaalde omstandigheden in staat om het beschadigde DNA te herstellen en zich als nog te delen, het zogenaamde fotoreactivering vermogen. Dit zijn de indicatoren van coliformen en enkele pathogene bacteriën zoals shigella. Andere bacteriën en virussen zijn niet tot fotore-activering in staat. Ook kan beschadiging aan het DNA irreversibel worden na verloop van langere tijd. Dit betekent dat water dat gedesinfecteerd is met behulp van UV niet langer dan nodig blootgesteld mag worden aan de zon.

4.5.4 Pathogene organismen²⁶

In het water kunnen zich verschillende micro-organismen bevinden die een negatief effect hebben op de gezondheid, de zogenaamde pathogene (ziekmakende) organismen. Deze organismen komen door verschillende activiteiten in het water terecht, enkele voorbeelden zijn uitwerpselen van mensen en dieren en industriële lozingen. Er zijn drie groepen pathogene organismen, te weten bacteriën, virussen en protozoa, zie Tabel 19 voor enkele ziekmakende bacteriën en protozoa.

²⁴ www.pipda.be, november 2007

²⁵ Doekhie, voorlopig afstudeerverslag, november 2007

²⁶ Dijk, van, Drinking water, water treatment technology, 2006

Bacteriën	Ziektes / infectie	Symptomen
<i>Aeromonas</i>	Darmontsteking	Zeer dunne bloed- en slijm bevattende diarree
<i>Campylobacter</i>	Campilobacteriose	Griep, diarree, hoofd en buikpijn, koorts, kramp en misselijkheid
<i>Plesiomonas</i>	Plesiomonas-infectie	Misselijkheid, buikpijn en waterige diarree, soms koorts, hoofdpijn en overgeven
<i>Salmonella</i>	tyfuskoorts	koorts
	Salmonella	misselijkheid, darmkrampen, overgeven, diarree en soms lichte koorts
<i>Streptococcus</i>	Darmziekte	Buikpijnen, diarree en koorts, soms overgeven
<i>Vibrio El Tor</i>	(Lichte vorm van) Cholera	Ernstige diarree

Tabel 19 Relatie bacteriën, ziektes en de bijbehorende symptomen

Bacteriën zijn overal om ons heen. Lang niet alle bacteriën zijn schadelijk voor de gezondheid, sommige zijn zelf bijzonder nuttig.

Bacteriën zijn eencellige, organismen zonder celkern, met een afmeting variërend van 0,0001 tot 0,02 mm. Verschillende bacteriën zijn te onderscheiden qua vorm, ligging en grootte. Bacteriën planten zich voort door celdeling. Verschillende bacteriën stellen verschillende eisen aan de omgeving om te kunnen overleven. Zo gedijen de meeste pathogene bacteriën het best bij een temperatuur van 35-40 °C.

Escherichia coli is een van de meest voorkomende soorten bacteriën in de dikke darmen van zoogdieren en mensen en is nodig voor het verteren van voedsel. Gemiddeld komen 100 miljard tot tien biljoen van deze bacteriën per dag via de ontlasting van de mens naar buiten en wordt dan als *E. coli* (de gebruikelijke afkorting) in water aangetroffen. Het is dus een indicatie dat het water met uitwerpselen vervuild is en wordt vaak gebruikt als model voor bacteriën in het algemeen. Deze wordt daartoe als indicator gebruikt. Een hoge concentratie *E. coli* in een medium duidt op een grote kans dat het product ook andere pathogenen bevat.

Virussen zijn micro-organismen die bestaan uit het genetisch DNA of RNA en is omsloten door eiwit, ze kunnen zich alleen maar delen met behulp van een gastheer (een cel), hiertoe moet een virus zijn gastheer infecteren. De grootte van een virus varieert van 0.01 tot 0.1 µm. Virussen kunnen overgedragen worden door voedsel, lichaamsappen en (drink)water. Dit impliceert niet dat alle virussen op al die manieren doorgegeven kunnen worden, bijvoorbeeld het retrovirus (oa HIV) is te fragiel om doorgegeven te worden via water.

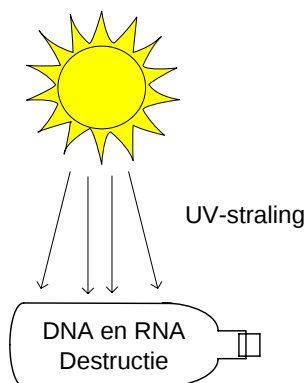
Protozoa zijn enkelcellige micro-organismen zonder celwand die afhankelijk zijn van bacteriën en andere organismen voor hun metabolisme. Ze kunnen opgedeeld worden in vier groepen, te weten: de zweepdiertjes, de trilhaardiertjes, de amoebocyten en de sporediertjes. Alle protozoa hebben iets van water nodig om zich voort te plaatsen. Enkele voorbeelden van ziekmakende protozoa zijn *Cryptosporidium Parvum* en *Giardia Lamblia*. De protozoa zijn van alle pathogene micro-organismen het

meest lastig te desinfecteren met behulp van UV-desinfectie. Bacteriën zijn van deze het best te desinfecteren met behulp van UV-desinfectie.

4.6 Experiment

4.6.1 Inleiding

Het UV-licht afkomstig van de zon is in staat om pathogene organismen te deactiveren. In het volgende experiment worden proeven gedaan met het regen- of rivierwater en de bijbehorende bacteriologische kwaliteit al dan niet na enkele uren UV-desinfectie. Het is de bedoeling dat de E-colie koloniën geïdentificeerd worden als indicator op pathogene organismen. Er zijn in alle vier de dorpen experimenten uitgevoerd met betrekking tot het SODIS-systeem. In Kajana zijn de testen gedaan met ongefiltreerd rivierwater, wel zijn de grovere delen eruit gefiltreerd met behulp van een zogenaamde panji (een soort theedoek, veel gebruikt door de vrouwen uit de dorpen). In Djoemoe zijn de experimenten uitgevoerd met regenwater, dit water oogde zo helder dat het niet nodig werd geacht het te filteren. In Botopasi zijn dezelfde experimenten nogmaals uitgevoerd met gefiltreerd rivierwater. Als filter is gebruikt een, van onder open, petfles welke achtereenvolgens gevuld is met een ponji en ongeveer 10 cm rivierzand. Voor het laatste experiment in Laduani is gekozen voor regenwater. Waarbij een vergelijking is gemaakt tussen petflessen die in de schaduw hebben gelegen en flessen die in de zon hebben gelegen. Achtereenvolgens zal besproken worden de verschillende benodigdheden voor de vier experimenten, de (weers)omstandigheden ter plekke, de werkwijze, de resultaten en tot slot de discussie met de conclusie



Figuur 41 Werking SODIS-systeem

4.6.2 Benodigdheden

- Petflessen, minimaal 8 en afhankelijk van welk experiment in de verschillende dorpen, eventueel meer (meegenomen uit Paramario)

- Nutridisks, gebruikt is het type Standard TTC. Het betreft een bacteriekweekmedia die klaar is voor gebruik in combinatie met een kleine toevoeging steriel water en een membraanfilter met de desbetreffende bacteriën. Deze media zorgt ervoor dat de verschillende bacteriekolonies na 48-72 uur roze zullen kleuren.
- Membraanfilters bijbehorend bij de Nutridisks, individueel verpakt en klaar voor gebruik
- Filtratiedevice, bestaande uit een opvangbak van 300 ml
- Vacuum pomp om het water door de membraanfilters te zuigen
- Pipet, 2 ml en 5 ml
- Maatbeker, 100 ml
- Alcohol om te desinfecteren
- Stoof (2 aluminium bakken op elkaar geplakt), de nutridisks moeten gedurende 48 -72 uur op een constante temperatuur van 30 °C bewaard worden.
- Thermometer,



Figuur 42 Benodigheden experiment

4.6.3 Omstandigheden

Desinfectie met behulp van het SODIS-systeem werkt optimaal als het volledig zonnig is. Boven grote delen van het binnenland hangen echter bijna altijd schaaipwolken welke een volledige zonnige dag onmogelijk maken. De buitentemperatuur liep dagelijks op tot 32 °C.

4.6.4 Werkwijze

In Kajana zijn de experimenten gedaan met het rivierwater. Op een plek in de rivier waar het water doorstroomde en zo min mogelijk opwoeling van de bodem ondervond zijn de samples genomen.

8 petflessen zijn, alvorens het water grof gefilterd te hebben, gevuld met rivierwater. Het rivierwater oogde zeer helder, er is dan ook vanuit gegaan het de troebelheid van het water onder de 30 NTU lag. De gevulde flessen zijn vervolgens op een zonnige plek neergelegd. Om de 2 uur is een bacteriesample genomen van een van de petflessen, met als begintijdstip $t=0$ uur en als laatste $t=8$ uur. Het nemen van de samples ging als volgt: 10 ml water werd afgetapt en op een zoveel mogelijk hygiënische manier 10 keer verdund (10 ml rivierwater + 90 ml steriel water) door het membraanfilter geleid. Dit filter wordt idem dito op de nutridisk gelegd, nadat deze met 3 ml water 'gevoed' was, en weggezet in de stoof. Na 48 uur in de stoof gezeten te hebben waarin de temperatuur zo constant mogelijk rond de 30 °C is gehouden, zijn de nutridisks met de membraanfilters onderzocht. Bacteriën, die zich in het water bevinden, vormen roze kolonies op het membraanfilter. Helaas waren de E-colies niet te onderscheiden van de andere bacteriën wat een overduidelijke aanduiding op pathogene organismen onmogelijk maakte. Desalniettemin zijn de verschillende kolonies zoveel mogelijk van elkaar onderscheiden en zijn de verschillen tussen $t=0$, $t=2$, $t=4$, $t=6$ en $t=8$ vastgelegd.

In Djoemoe zijn dezelfde experimenten uitgevoerd met ongefilterd regenwater. Dit regenwater was opgevangen met een golfplaatdak en bewaard in een stalen ton. 6 petflessen zijn in de zon op het golfplaatdakje gelegd ter desinfectie. Bacterieproeven zijn gedaan om de 2 uur, er is ook een proef gedaan met water dat 24 uur in de zon gelegen. In drie dorpjes in het cluster Djoemoe waren drinkwaterzuiveringen aanwezig naar aanleiding hiervan is ook van het water van de zuivering Bendekondre een sample genomen. Er is in dit en in de volgende experimenten steeds voor gekozen om 100 ml onverdund sample door het membraanfilter te leiden. De reden hiervoor ligt hem in het feit dat het met deze filters onmogelijk is om E-colies af te lezen. De nadruk op dit experiment en de volgende ligt dan ook vooral op het vergelijken van de verschillende samples.



Figuur 43 Impressies bacterie experimenten SODIS-systeem

In Botopasi zijn de experimenten uitgevoerd met rivierwater. Dit rivierwater is eerst redelijk grondig gefilterd. Het filter, zie foto rechts Figuur 43 Impressies bacterie experimenten SODIS-systeem, bestond uit een petfles die van boven is opengesneden en achtereenvolgens gevuld met een deel panji, een theedoek en daarbovenop 10 cm zand. Dit zand is afkomstig uit de rivier en is gescheiden van de grootste korrels. Op de foto links van meest rechts is te zien het gefilterde water en het ongefilterde rivierwater. Het gefilterde rivierwater oogt iets schoner dan het ongefilterde rivierwater wat er ook al zeer helder uitziet, er wordt dan ook vanuit gegaan dat de troebelheid ruim onder de 30 NTU ligt. De petflessen worden op een golfplaatdak in de zon gelegd, om de 2 uur wordt er een sample genomen van het gefilterde water. Ook wordt er een sample genomen van het ongefilterde rivierwater en van het rivierwater na 24 uur. Om duidelijk de effectiviteit van petfles voor wat betreft het SODIS systeem te bewijzen is er ook een test gedaan met gefilterd water in een bruine glazen fles (Djogo), dit water is op $t=8$ en $t=24$ getest op bacteriën.

De experimenten in Laduani zijn uitgevoerd met ongefilterd regenwater. 2*4 petflessen zijn op een zonnige plek op een golfplaatdakje gelegd waarvan 4 flessen afgedekt onder vuilniszakken en theedoeken zodat het zonlicht dat water niet zou bereiken. Dit betekent dat alle omstandigheden, behalve de straling van de zon, van de petflessen gelijk zijn. Op deze manier kan onderzocht worden hoe

het kolonie aantal van de bacteriën afhangt van alleen de straling van de zon. Om de 2 uur is er een bacteriesample genomen uit een petfles welke was blootgesteld aan de zon en van een petfles op hetzelfde dak maar dan in de schaduw.

4.6.5 Resultaten

Kayana: Grof gefilterd rivierwater							
Tijd (uren)	Water Temp. °C	KVE/100 ml					bijzonderheden
		roze (grote)	roze (kleine)	rode (grote)	rode (kleine)	Totaal	
0	28	63	71	40	79	253	ongefilterd
0	28	onleesbaar wegens doorlopen					
2	37	43	60	14	13	130	
3	40	84	70	18	2	174	
4	43	onleesbaar wegens doorlopen					
6	42	104	96	24	8	232	
8	40	onleesbaar wegens doorlopen					
fles	30	2	2	21	4	29	Para Springs

Tabel 20 Resultaat experimenten Kajana

De experimenten in Kajana waren de eerste in de reeks. Enkele bacterie monsters waren onleesbaar geworden, een mogelijke oorzaak was dat de voedingsbodems te nat waren geworden. In het vervolg zullen de voedingsbodems dan ook niet met 3 ml gevoed worden maar met minder. Daarnaast wordt elke monster voor de zekerheid in tweevoud uitgevoerd. Doordat 3 redelijk belangrijke monsters onleesbaar zijn geworden is het niet mogelijk of betrouwbaar om een (neerwaartse) trend in de hoeveelheid kolonievormende eenheden te zien.

Djoemoe: ongefilterd regenwater							
Tijd (uren)	Water Temp. °C	KVE/100 ml					Bijzonderheden
		roze (grote)	roze (kleine)	rode (grote)	rode (kleine)	Totaal	
0	28	168	44	20	28	260	
2	39	84	40	24	28	176	
4	44	100	24	8	28	160	
6	42	76	24	4	12	116	
8	39	76	32	8	4	120	
24	43	0	0	0	408	408	veel mooie kleine
Zuivering	30	76	581	25	681	1363	veel een rommelig

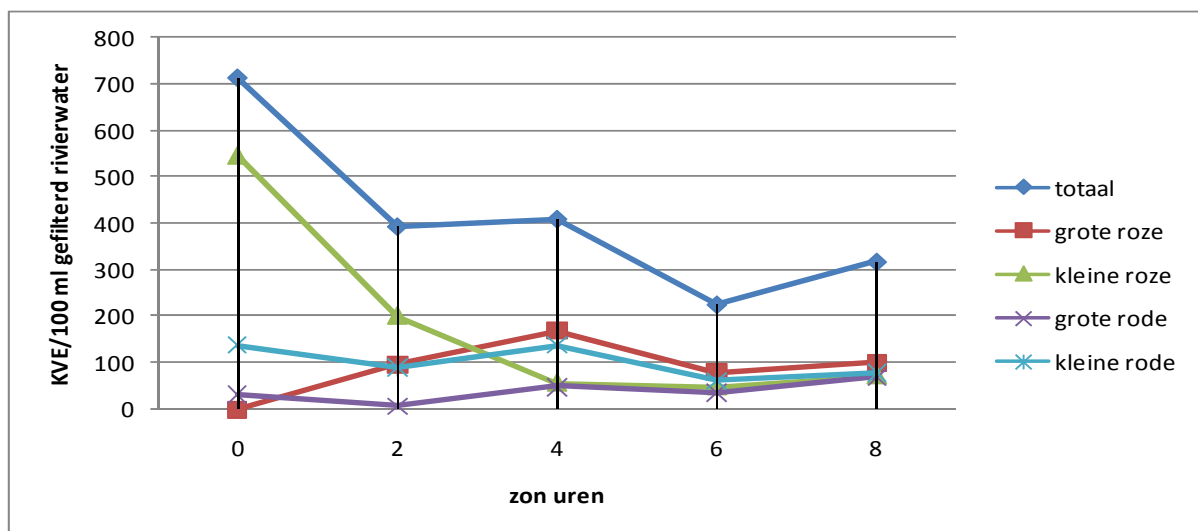
Tabel 21 Resultaat experimenten Djoemoe

Botopasi: gefilterd rivierwater							
Tijd (uren)	Water Temp. °C	KVE/100 ml					bijzonderheden
		roze (grote)	roze (kleine)	rode (grote)	rode (kleine)	totaal	
0	30	0	1540	0	1237	2776	ongefilterd
0	30	0	544	32	136	712	
2	43	96	200	8	88	392	
4	46	168	56	48	136	408	
6	47	80	48	36	60	224	
8	43	100	72	68	76	316	
8	42	172	120	12	180	484	in bruine glazen djogo fles
24	40	0	0	20	16	36	
24	40	84	152	40	132	408	in bruine glazen djogo fles
fles	31	16	84	20	84	204	Para Springs

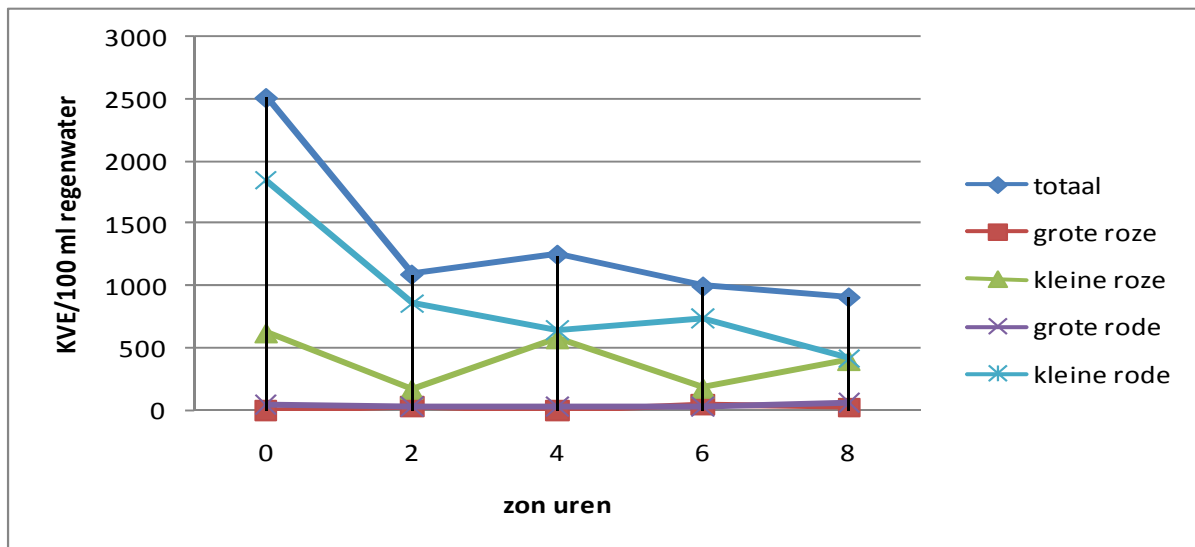
Tabel 22 Resultaat experimenten Botopasi

Laduani: regenwater							
Tijd (uren)	Water Temp. °C	KVE/100 ml					bijzonderheden
		roze (grote)	roze (kleine)	rode (grote)	rode (kleine)	totaal	
0	28	0	624	48	1840	2512	in de zon
2	40	32	168	32	856	1088	"
4	49	0	576	32	640	1248	"
6	49	48	176	32	736	992	"
8	41	24	400	64	416	904	"
0	28	0	624	48	1840	2512	in de schaduw
2	38	48	176	80	1264	1568	"
4	48	16	128	32	1568	1744	"
6	50	32	160	64	1504	1760	"
8	42	32	336	64	1024	1456	"

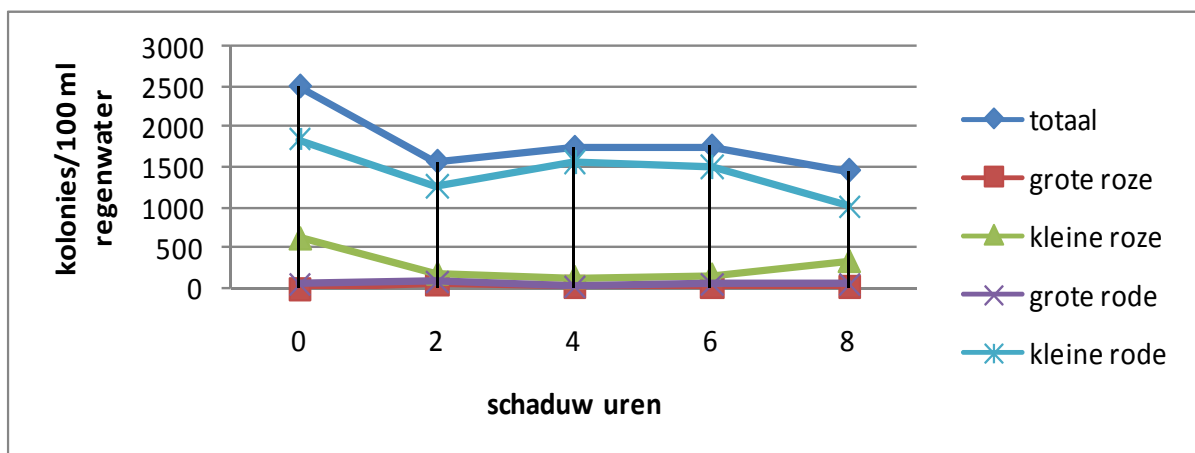
Tabel 23 Resultaat experimenten Laduani



Figuur 44 Resultaat experimenten Djoemoe



Figuur 45 Resultaat experimenten Botopasi



Figuur 46 Resultaat experimenten Laduani

4.6.6 Discussie

Er zijn duidelijk steeds vier verschillende soorten KVE (Kolonie Vormende Eenheden) te zien op de membraanfilter op de voedingsbodem, dit zijn grotere roze kolonies, grotere rode kolonies, kleine rode en kleine roze kolonies. De grote rode kolonies waren vaak mooi een duidelijk omrand, anders was dit voor de grotere roze kolonies die soms zelfs meer op schimmels leken, hetzelfde geldt vaak ook voor de kleine kolonies. De kleine KVE vertoonde ook veel verschillen, soms waren ze heel klein en in grote getalen aanwezig zoals in experimenten in Laduani en soms waren ze alleen kleiner dan de grote.

Deze verschillende soorten KVE kunnen verschillende oorzaken hebben. Zo kan het er op duiden dat die verschillende KVE verschillende soorten bacteriën zijn, ook is het mogelijk dat de grotere kolonies

samenklontering zijn van de kleinere kolonies, al is dat bij de duidelijk omrande kolonies niet heel erg aannemelijk.

Voor alle experimenten is een duidelijke neerwaartse trend te zien in de hoeveelheid KVE. De grootste daling in hoeveelheid KVE is voor alle experimenten in de eerste 2 uur het grootst, waarna de daling in de uren 2-4 gering is. De uren 4-6 kenmerkt zich weer in een daling waarna het in uren 4-6 weer redelijk constant is of zelfs stijgend zoals in Djoemoe en Botopasi. De bacteriemetingen nadat het water 24 uur in de petfles heeft gezeten kenmerken zich door zeer weinig KVE/100 ml in vergelijking tot de metingen tussen $t=0$ - $t=8$ uur.

Verschillende bacteriën reageren verschillend op de UV-desinfectie van de zon. De gewenste werking van UV-desinfectie ligt hem in de destructie van het DNA en/of RNA van de micro-organismen met als gevolg dat deze zich niet meer kan delen en dus niet meer schadelijk kan zijn voor de gezondheid na consumptie. Veel micro-organismen voldoen aan dit gewenste effect, dit is duidelijk te zien in de eerste 2 uur. Er zijn echter ook micro-organismen die zich na verloop van tijd weer kunnen herstellen of die er zelfs helemaal immuun voor zijn. Het lijkt erop dat de herstellende bacteriën na 6 uur weer actief worden. Het slechts aantonen van de aanwezigheid van bacteriën hoeft dus niet per definitie slecht te zijn, pas wanneer de bacteriën en virussen zich gaan vermenigvuldigen kan dit nadelig zijn voor de gezondheid.



Figuur 47 Impressie typisch resultaat

De hoeveelheden kolonie vormende eenheden verschillen per experiment aanzienlijk. Zo zijn het in Djoemoe vooral de grotere roze kolonies die de trend bepalen, in Bototpasi de (kleine) roze en in Laduani de kleine rode kolonies.

Djoemoe: De KVE wordt vooral gekenmerkt door de grotere roze kolonies. Het feit dat dit grote kolonies zijn zorgt er ook voor dat de aantallen, in vergelijking tot de experimenten in Laduani en Botopasi, niet heel hoog zijn. Het betrof regenwater wat in een niet afgesloten tank werd bewaard. De bacteriën die aangegeven worden zijn hoogstwaarschijnlijk afkomstig van insecten, takjes, bladeren en vogelpoep afkomstig van het dak. In de opslagtank zijn geen larven of muggen aangetroffen.

Er is ook een monster genomen van het water van de zuivering in Bendekondre, het resultaat was een membraanfilter vol met zeer veel rode en roze kolonies die totaal ondefinieerbaar van vorm waren.

In Botopasi zijn de experimenten uitgevoerd met rivierwater. De trend van deze totale aantal KVE wordt vooral veroorzaakt door de kleine roze kolonies (de eerste drie uur) en de grotere roze kolonies. Het is goed mogelijk dat de kleine roze kolonies zijn gaan samenklonteren tot de grotere roze kolonies. In tegenstelling tot het regenwater in Djoemoe is de kans groot dat de bacteriën onder andere afkomstig zijn van uitwerpselen van mensen en dieren, de zogenaamde pathogene (ziekmakende) micro-organismen. Naast de standaard experimenten met het rivierwater zijn Deze zelfde experimenten uitgevoerd met het enige verschil dat het water niet in een pet fles in de zon is gelegd maar in een dikke bruine glazen fles. Na acht uur in een dergelijke fles te hebben gezeten bleek er kwalitatief nog niet heel veel verschil te zitten in vergelijking tot het water in de petfles. Na 24 uur bleek er echter een overduidelijk verschil, het water uit de pet fles leek bijna geheel vrij van kolonies en het water in de djogo fles bevatte veel grote en kleine kolonies.

In Laduani wordt de dalende trend in KVE vooral bepaald door de kleine, in het bijzonder de rode, kolonies en spelen de grotere kolonies eigenlijk geen rol. Het verschil tussen de rode en de roze kolonies was niet heel duidelijk aanwezig, de twee kleuren liepen redelijk van rood aan de buitenkant naar roze in de binnenkant in elkaar over. In Laduani zijn ook experimenten uitgevoerd met water dat in ook in een petfles op de dezelfde plek in de zon gelegen heeft met het verschil dat ze afgedekt waren voor de zonnestraling. In de grafiek is duidelijk te zien dat de uiteindelijke KVE een stuk hoger lag dan wanneer hetzelfde water wel blootgesteld was aan de zonnestraling. Wel is er in de eerste twee uur een daling in het aantal KVE waar te nemen. Aannemelijk is dat in die eerste twee uur de kleine rode KVE zijn vermenigvuldigd en samengeklonterd in grote rode KVE.

4.6.7 Conclusie experiment

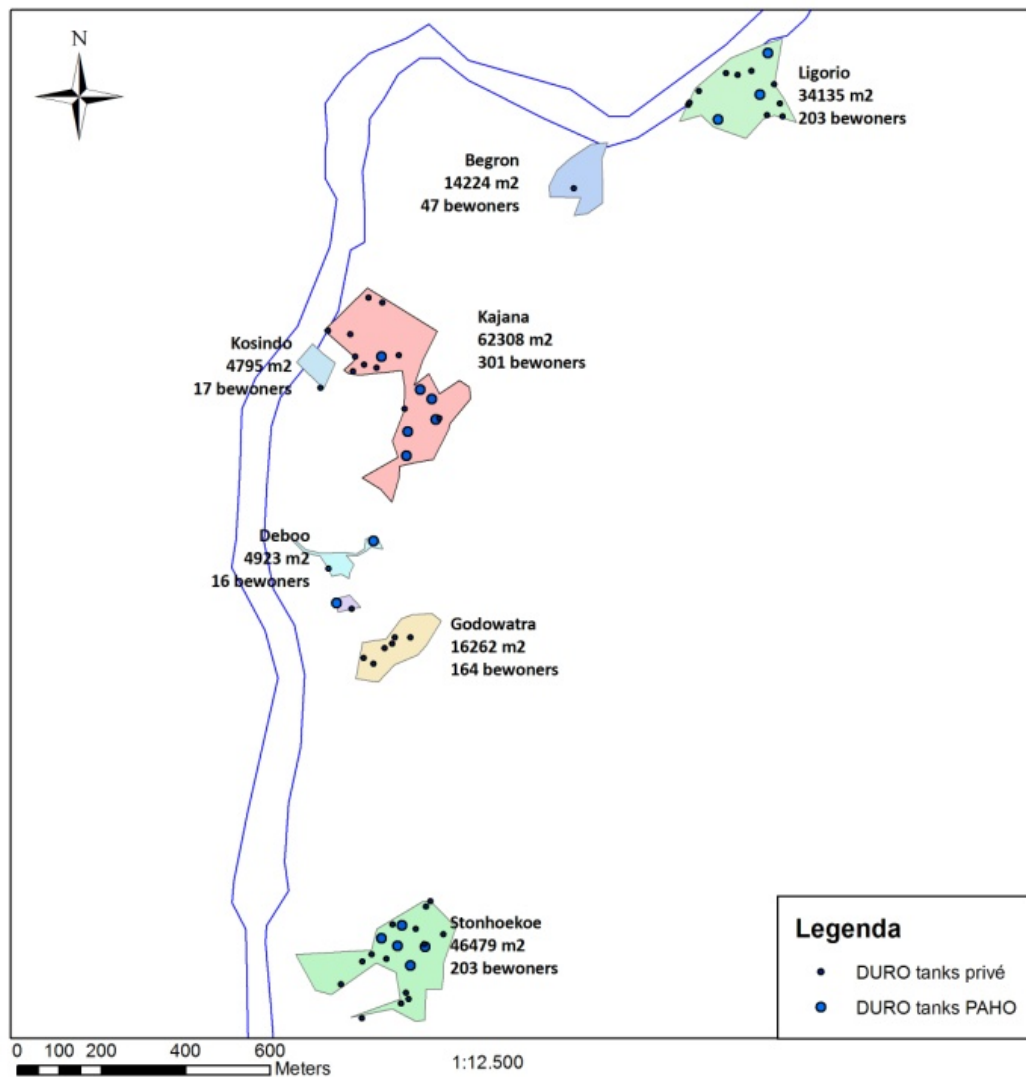
In alle grafieken is steeds een duidelijke neerwaartse trend waar te nemen, er mag dus geconcludeerd worden dat desinfectie met behulp van zonlicht, afhankelijk van het aantal uren dat de petflessen zijn blootgesteld aan de zon, een verbetering in het aantal bacteriën oplevert. (Er moet wel rekening worden gehouden met het feit dat het van tevoren niet duidelijk was welke bacteriën er in het water zitten en welke er exact zijn aangetroffen op het filter na enkele uren).

Al in de eerste twee uur is afname van het aantal KVE het grootst. In de proeven in Djoemoe en Botopasi trad na zes uur weer een lichte stijging op van het aantal KVE wat aangeeft dat het optimum voor desinfectie na enkele uren voor die bacteriën lag rond de 6 uur. Na 24 uur was de desinfectie telkens overduidelijk, de KVE waren kleiner en in aantal minder aanwezig.

4.7 Inventarisatie GPS

In meerdere dorpen in de dorpenclusters is een inventarisatie gemaakt van de huidige drinkwatersituatie. Samen met de BO of een ander bewoner die ons rond kon leiden zijn de verschillende dorpen uitgebreid bezocht. Met behulp van een GPS-systeem zijn de verschillende drinkwaterbronnen, zoals DURO-tanks en tappunten gemarkt. Daarnaast zijn de volumes van de tanken genoteerd, exacte cijfers zijn te zien in Bijlage J: Drinkwatersituatie Boven Suriname gebied in cijfers.

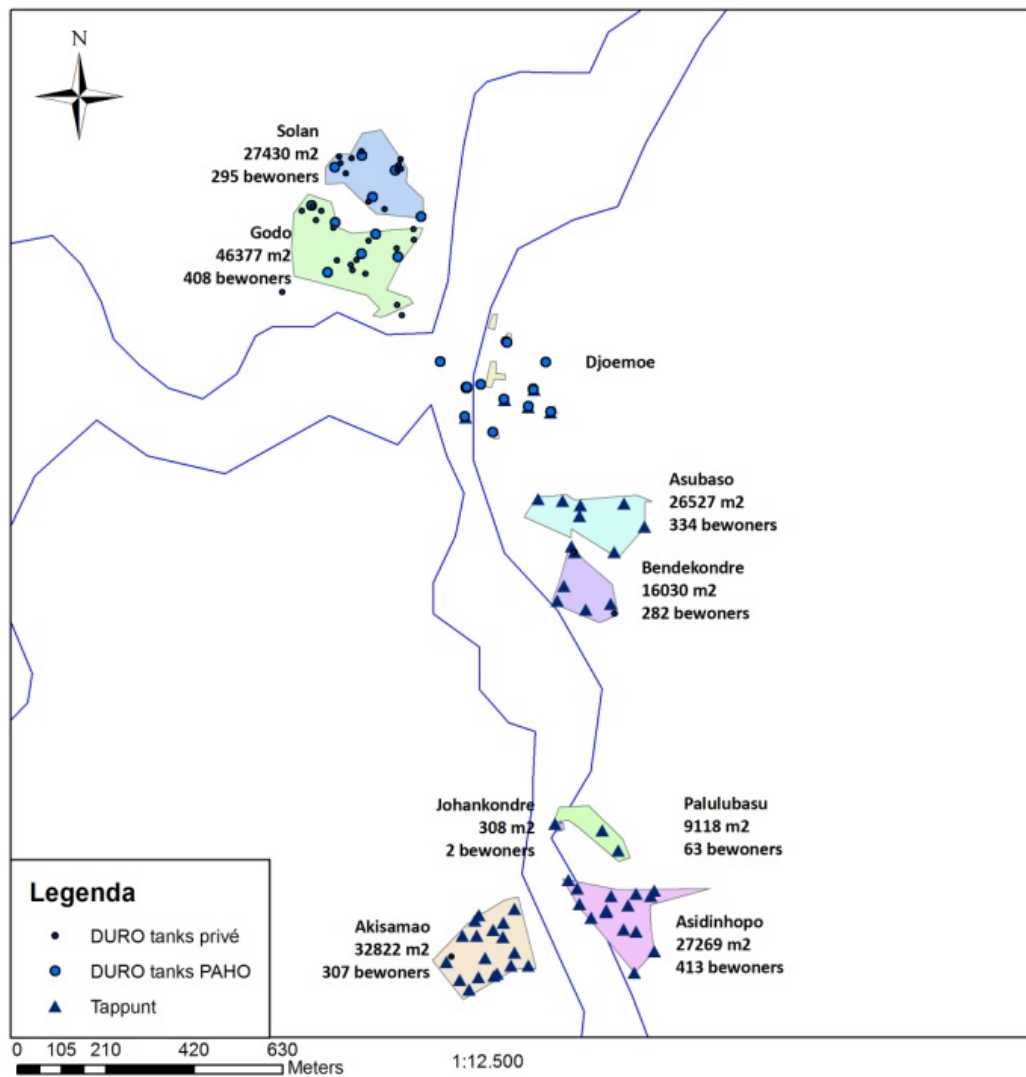
Er zullen hier berekeningen gemaakt worden die duidelijk kunnen maken of er op dit moment voldoende water beschikbaar is en kan zijn met het huidige aantal DURO-tanks en regenval. De afweging zal gemaakt worden tussen aanbod en gebruik. Om te beginnen zal het resultaat van het gps-en van de drinkwaterbronnen gegeven en bediscussieerd worden.



Figuur 48 Ruimtelijke drinkwatersituatie Kajanacuster

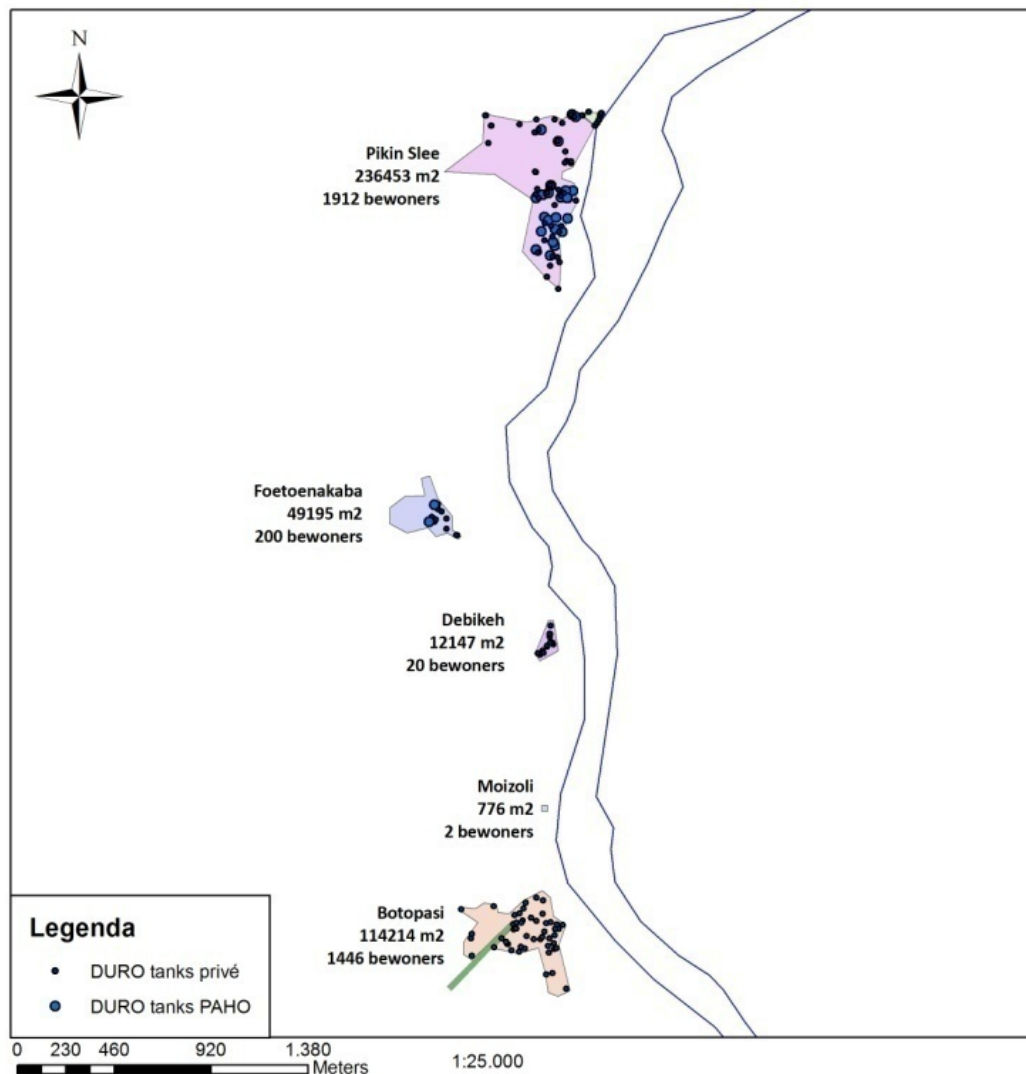
De grote blauwe stippen in de figuur zijn DURO-tanks geïmplementeerd door de PAHO. De kleine zwarte zijn particuliere tanks. De figuur geeft letterlijk weer hoeveel tanks zich in het dorpen cluster bevinden, waar deze zich bevinden en hoe ze zich verdelen over de verschillende dorpjes.

De Duro tanks zijn redelijk gelijk verdeeld over de dorpen. In Stonhoekoe staan er echter duidelijk meer, dit was dan ook het dorp waar de hoofdkapitein woonde.



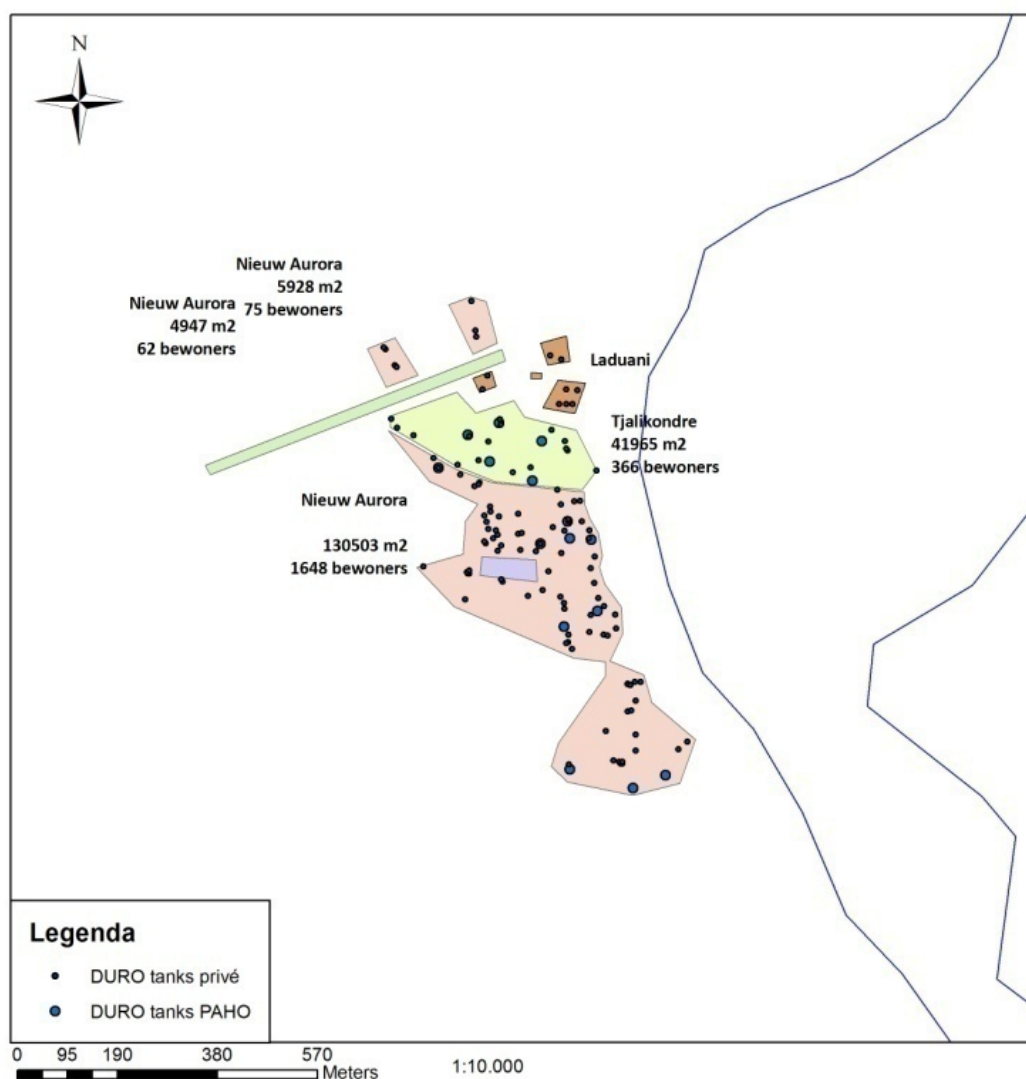
Figuur 49 Ruimtelijke drinkwatersituatie Djoemoeccluster

Het volgende dorpencluster lag meer uitgebreid over het gebied. Het is dan ook niet mogelijk geweest dat alle dorpen bezocht zijn. De bezochte dorpen onder de splitsing beschikte allen over drinkwatertappunten.



Figuur 50 Ruimtelijke drinkwatersituatie Botopasicluster

Ook de dorpen binnen Botopasi lagen weid verspreid. Dit is dan ook een mogelijke reden dat de dorpen redelijk onafhankelijk waren, en dan voornamelijk het dorp Pikin Slee. Dit dorp groot en bestond uit verschillende wijken, wat duidelijk te zien is aan het aantal DURO-tanks. Een zogenaamde goede wijk beschikte over meer tanken dan een slechte wijk. Er moet echter rekening gehouden worden met het feit dat er, door de omvang van het dorp, DURO-tanks over het hoofd zijn gezien.

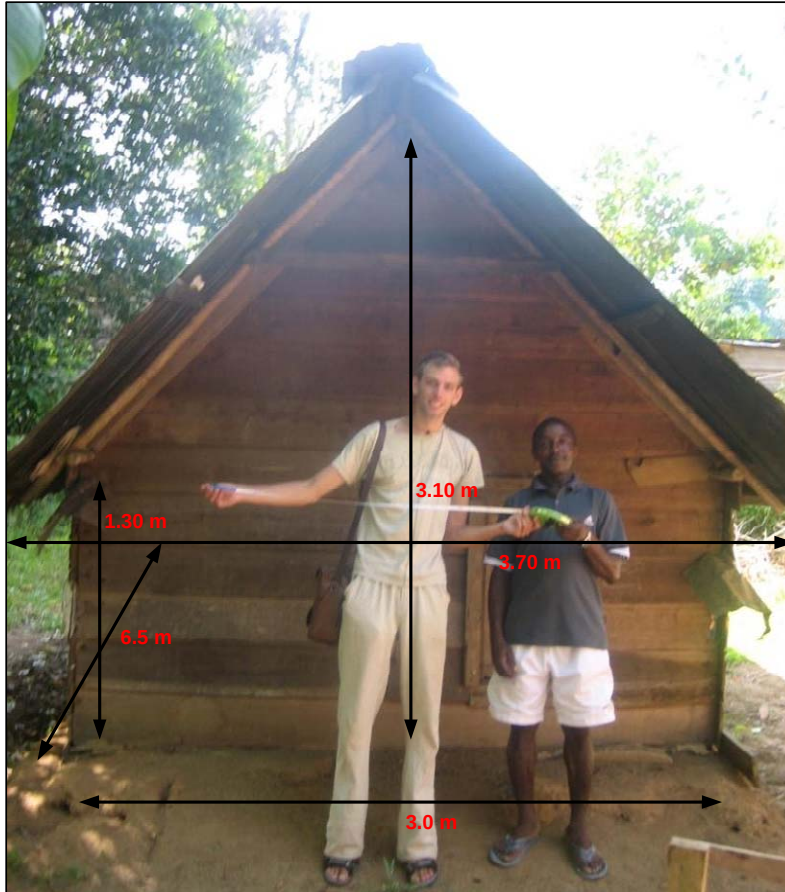


Figuur 51 Ruimtelijke drinkwatersituatie Laduaniccluster

Laduani (Nieuw Aurora) was duidelijk veel stadser dan de andere dorpencluster. De dorpen waren grotendeels naar elkaar toegegroeid. DURO-tanks waren dan ook op grote schaal aanwezig.

4.8 Beschikbaarheid regenwater²⁷

Regenwater aanbod:



Figuur 52 Impressie grootte typisch voorkomend huis

$$A = Q_{\text{regen}} / 1000 \times F \times y \quad \text{waarin}$$

A = regenwater tbv drinkwater [m^3]

Q_{regen} = regenwateraanbod [mm]

F = geprojecteerd dakoppervlak [m^2]

y = afvloeiingscoëfficiënt dag [-]

Dakoppervlak:

²⁷ www.uneto-vni.nl, november 2007

$$\text{Opp}_{\text{dak}} \Rightarrow \sqrt{1.85^2 + 1.80^2} = 2.58$$

$$2(2.58 \times 6.50) = 33.54 \text{ m}^2$$

Het horizontaal geprojecteerde dakoppervlak is gelijk aan:

$$F = (3.70 \times 6.50)/2 = 12 \text{ m}^2$$

Er wordt hierbij vanuit gegaan dat slechts de helft van het dak benut wordt voor het opvangen van regenwater omdat er bijna altijd maar aan een kant van het dak een regenpijpje is bevestigd.

Voor het opvangen van het regenwater worden golfplaatdakjes gebruikt. Dit materiaal is zeer glad en het dak staat voldoende schuin zodat bijna al het regenwater tot afstroming komt, er wordt dan ook gekozen voor een afvloeiingscoëfficiënt van 0.9 [-].

Het regenwateraanbod wordt per seizoen bekeken. Er is hierbij onderscheid gemaakt in de vier verschillende seizoenen de lange droge periode (augustus tot en met november), korte droge periode (februari tot en met maart), lange natte periode (april tot en met juli) en de korte natte periode (december en januari). Redelijk betrouwbare regengegevens waren beschikbaar over het jaar 2006 en driekwart van het jaar 2007, zie Figuur 27 en Figuur 28 op pagina's 52 en 52. De gemiddelde regenval in 2006 lag hoger dan in de gemeten waarden in 2007. Daar er slechts van het jaar 2006 metingen gedurende het hele jaar zijn, worden deze metingen meegenomen in de berekening, de grootste piek in dit jaar wordt echter vervangen door de waarden van diezelfde maand in 2007, zie Tabel 24.

maand	neerslag in mm				
	Kajana	Djoemoe	Botopasi	Laduani	gem.
1/1/2006	162.50	327.80	441.00	432.50	340.95
2/1/2006	138.30	100.10	209.80	177.50	156.43
3/1/2006	195.40	124.90	152.50	56.60	132.35
4/1/2006	381.30	315.50	155.90	257.90	277.65
5/1/2006	712.60	382.40	400.10	423.10	479.55
6/1/2006	433.90	378.50	296.90	318.40	356.93
7/1/2006	211.50	259.50	296.30	241.90	252.30
8/1/2006	91.20	106.30	117.00	137.00	112.88
9/1/2006	45.30	20.90	9.00	27.50	25.68
10/1/2006	9.60	70.90	64.70	35.20	45.10
11/1/2006	93.60	157.80	110.50	166.40	132.08
12/1/2006	123.00	189.30	156.80	148.10	154.30

Tabel 24 Aangenomen hoeveelheid neerslag

De berekeningen worden globaal per maand bekeken omdat er grote verschillen kunnen optreden per dag, per maand en per jaar. Het regenaanbod geldt per het volume dat opgevangen kan worden door de huidige capaciteit aan DURO-tanks.

Voorbeeld berekening: De lange natte periode, april, Kajana:

$$A = Q_{\text{regen}} / 1000 \times F \times y \rightarrow$$

$381.3 / 1000 \times 12 \times 0.9$ dit geldt per opvangpunt, en dus ook per DURO-tank.

$$A = 4.12 \text{ m}^3$$

Het regenwatergebruik is op de volgende manier berekend met behulp van de onderstaande tabel. De onderstaande tabel is opgemaakt uit opgenomen gegevens over de hoeveelheid beschikbare DURO-tanks in de dorpjes en het bijbehorende volume, voor een complete uitwerking zie Bijlage J:

Drinkwatersituatie Boven Suriname gebied in cijfers.

	aantal durotanken/ hectare	aantal m3/hectare	aantal bewoners/d urotank	aantal bewoners/ m3
Kayana: gem.	4	6.18	15	10
Kayana: max.	6	9.02	47	31
Botopasi: gem.	6	8.40	10	6
Botopasi: max.	10	16.82	18	11
Laduani: gem.	10	16.66	13	9
Laduani: max.	19	33.04	20	13

Tabel 25 Regenwatergebruik per dorp

In de Tabel 25 Regenwatergebruik per dorp, is te zien dat er in Kajana gemiddeld 10 personen zijn (ervan uitgaande dat het opgevangen regenwater voor iedereen beschikbaar is) die van een kubieke meter regenwater uit een DURO-tank gebruik maken.

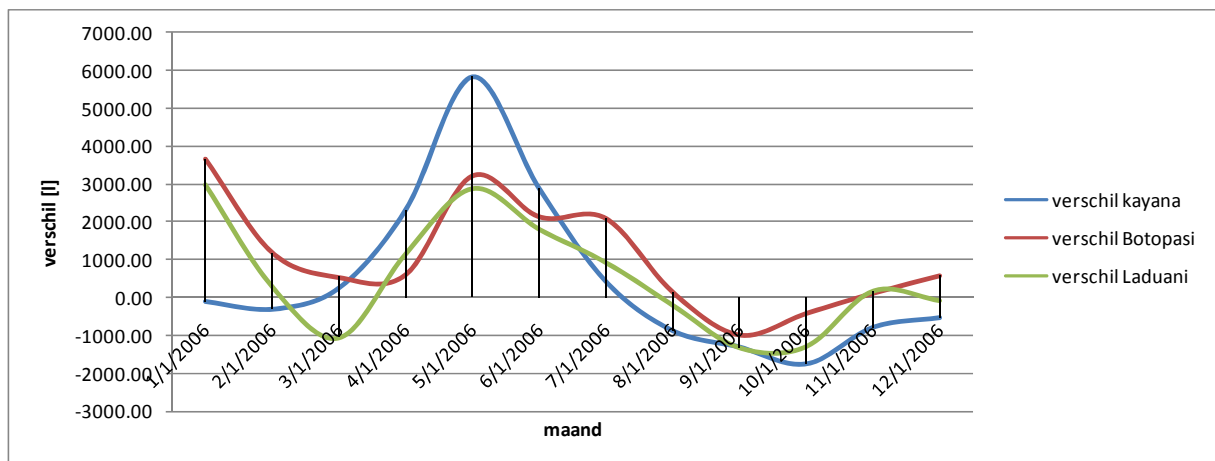
Er wordt aangenomen dat deze bewoners 6 liter water per persoon per dag gebruiken, dit wordt in totaal:

$$10 \text{ personen} \times 6 \text{ liter regenwater} \times 31 \text{ dagen} = 1860 \text{ liter}$$

In de maand januari wordt er door een opvangpunt voor gemiddeld 10 personen 1760 liter opgevangen, dit is $1860 - 1760 = 100$ liter te weinig, zie Tabel 26 Beschikbaarheid regenwater huidige situatielaatste drie kolommen .

maand	gebruik per m3 indurotank[l]			Regenaanbod per opvangpunt [l]			verschil [l]		
	kayana	Botopasi	laduani	Kajana	Botopasi	Laduani	Kajana	Botopasi	Laduani
1/1/2006	1860.0	1116.0	1674.0	1755.00	4762.80	4671.00	-105.00	3646.80	2997.00
2/1/2006	1800.0	1080.0	1620.0	1493.64	2265.84	1917.00	-306.36	1185.84	297.00
3/1/2006	1860.0	1116.0	1674.0	2110.32	1647.00	611.28	250.32	531.00	-1062.72
4/1/2006	1800.0	1080.0	1620.0	4118.04	1683.72	2785.32	2318.04	603.72	1165.32
5/1/2006	1860.0	1116.0	1674.0	7696.08	4321.08	4569.48	5836.08	3205.08	2895.48
6/1/2006	1800.0	1080.0	1620.0	4686.12	3206.52	3438.72	2886.12	2126.52	1818.72
7/1/2006	1860.0	1116.0	1674.0	2284.20	3200.04	2612.52	424.20	2084.04	938.52
8/1/2006	1860.0	1116.0	1674.0	984.96	1263.60	1479.60	-875.04	147.60	-194.40
9/1/2006	1800.0	1080.0	1620.0	489.24	97.20	297.00	-1310.76	-982.80	-1323.00
10/1/2006	1860.0	1116.0	1674.0	103.68	698.76	380.16	-1756.32	-417.24	-1293.84
11/1/2006	1800.0	1080.0	1620.0	1010.88	1193.40	1797.12	-789.12	113.40	177.12
12/1/2006	1860.0	1116.0	1674.0	1328.40	1693.44	1599.48	-531.60	577.44	-74.52

Tabel 26 Beschikbaarheid regenwater huidige situatie



Figuur 53 Beschikbaarheid regenwater huidige situatie

Te zien is dat er regen tekorten voor drinkwater ontstaan in de maanden augustus, september en oktober, de lange droge periode. De grote regenpiek ontstaat vaak in mei. Theoretisch zou men water in de maanden juni en juli op kunnen slaan zodat men volle tanken de droge periode ingaat.

Rekenvoorbeeld voor Kajana:

15 personen maken dagelijks (zonder te bezuinigen), 3 maanden gebruik van 1 DURO-tank, dit komt totaal neer op 8280 l. Ervan uit gaande dat de desbetreffende DURO-tank een volume heeft van 1500 m³ en dat er in die maanden nog in totaal nog 1578 liter bij komt. Er ontstaat dan nog een tekort van

8280-3078=5202 liter per 15 personen → 347 liter per persoon per de lange droge periode.

Rekenvoorbeeld voor Botopasi:

10 personen maken dagelijks (zonder te bezuinigen), 3 maanden gebruik van 1 DURO-tank, dit komt totaal neer op 5520 l. Ervan uit gaande dat de desbetreffende DURO-tank een volume heeft van 1500 m³ en dat er in die maanden nog in totaal nog 2059 liter bij komt. Er ontstaat dan nog een tekort van $5520 - 3559 = 1961$ liter per 10 personen → 196 liter per persoon per de lange droge periode.

Rekenvoorbeeld voor Laduani:

13 personen maken dagelijks (zonder te bezuinigen), 3 maanden gebruik van 1 DURO-tank, dit komt totaal neer op 7176 l. Ervan uit gaande dat de desbetreffende DURO-tank een volume heeft van 1500 m³ en dat er in die maanden nog in totaal nog 2157 liter bij komt. Er ontstaat dan nog een tekort van $7176 - 3657 = 3519$ liter per 13 personen → 270 liter per persoon per de lange droge periode.

Alle dorpen komen DURO-tanks tekort om de lange droge tijd te overbruggen. Er zijn uiteraard verschillende manieren om op redelijk eenvoudige manieren extra regenwater op te vangen. Om te beginnen het dakoppervlak. Bijna altijd was er maar aan één kant van het dak een dakgootje beschikbaar. Dit dakgootje was of aangeleverd door de NGO PAHO (zogenaamd per 100 personen eentje) en was dan ongeveer 3 meter lang. Vaak was het dak langer zodat deze dakgoot niet optimaal



Figuur 54 Impressie zelfgemaakte dakgoot

gebruik maakte van de beschikbaarheid van regenwater. Als het geen PAHO dakgoot betrof dan was het vaak een zelf gemaakt gootje, zie figuur 55. Ook deze gootjes waren vaak niet optimaal voor het gehele dak. Daarnaast zou men beide helften van het dak kunnen aansluiten op de DURO-tank hier is dan wel een ietwat geavanceerd dakgoten systeem voor nodig.

Het meest optimale zou zijn om meer DURO-tanks te plaatsen met

goede lange dakgoten, het water tekort zou dan op technisch

eenvoudige wijze opgevangen kunnen worden.

Het is echter niet alleen de kwantiteit die van belang is, minstens zo belangrijk is de kwaliteit. Het regenwater zelf bevat geen pathogene organismen. Pathogene organismen kunnen bijvoorbeeld het water besmetten wanneer het dak ermee bevuild is en het water via het dak in afstroming komt de tank in. Als de tank niet voldoende afgesloten is het ook mogelijk dat er beestje en dergelijke in gaan zitten

die ervoor kunnen zorgen dat er slechte bacteriën in het water komen. Deze bacteriën kunnen gaan groeien wanneer het water te lang onder deze omstandigheden (in een zwarte ton in de zon bij ongeveer 30 °C) wordt bewaard. Dit is waar een mogelijke vorm van desinfectie de uitkomst biedt.

4.9 Conclusie

Voor dit project is er zowel in Suriname als in Nederland onderzoek gedaan naar een verbetering aan de drinkwatersituatie in de binnenlanden van Suriname. Het onderzoek in Nederland bestond vooral uit vooronderzoek met betrekking tot maken van een systeem wat mogelijk zou zijn om te implementeren in de binnenlanden om het water daar ermee te desinfecteren.

Het onderzoek in Suriname is uitgevoerd in het Boven Suriname gebied en is opgedeeld in drie verschillende onderzoeken en/ of experimenten. Het eerste experiment bestond uit een sociaal onderzoek in de verschillende dorpen binnen het dorpen cluster. In dit sociale onderzoek is er vooral gekeken naar de manier waarop de binnenlandbewoners met hun 'drink'water omgaan. Ook is de mening en de beleving over het water gevraagd aan de bewoners. Hieruit konden de randvoorwaarden opgemaakt worden waar het desbetreffende systeem, welke momenteel verder in ontwikkeling is, aan zal moeten voldoen opdat de binnenlandbewoners het waarderen en gebruiken en daarmee onnodige ziekte en zelfs sterfte als gevolg van verkeerd drinkwater tegen te gaan.

Een tweede experiment betrof het onderzoek naar de werking van UV-desinfectie in het gebied. Hierbij werd beschouwd de kwaliteit van het regenwater en het rivierwater in combinatie met verschillende zonuren, de resultaten zijn te zien in paragraaf 4.6.5.

Het derde onderzoek was gebaseerd op het gebruik van de DURO-tank. Deze DURO-tanks, welke gebruikt worden om regenwater op te vangen, staan verdeeld over het dorp, sommige tanks zijn bedoeld voor privé- en andere voor algemeen gebruik. Er is een inventarisatie gemaakt naar de hoeveelheden, de exacte plek en de volumes ervan. Hieruit kon worden opgemaakt, in combinatie met de regengegevens, of er voldoende water opgevangen kan worden om te consumeren. Dit bleek echter niet het geval, de exacte cijfers zijn te zien in Bijlage J: Drinkwatersituatie Boven Suriname gebied in cijfers.

5 Vooronderzoek Microwaterkracht

In dit hoofdstuk wordt geanalyseerd wat de mogelijkheden en voorwaarden voor de implementatie van duurzame microwaterkracht in het Boven-Suriname gebied zijn.

5.1 Situatiebeschrijving

Op dit moment beschikt het Boven-Suriname gebied over een redelijk groot aantal dieselgeneratoren in behoorlijke staat, die geschonken zijn door het ministerie van Natuurlijke Hulpbronnen (NH) in combinatie met het ministerie van Regionale Ontwikkeling (RO). Veel dorpen hebben een eigen generator, sommige worden gedeeld door enkele naast elkaar gelegen dorpen. Enkele dorpen zijn niet voorzien van een generator. Het ministerie van Natuurlijke Hulpbronnen verzorgt het onderhoud en levert gratis diesel. Ook groot onderhoud aan het distributienetwerk valt hieronder. Klein onderhoud wordt door de mensen zelf gedaan. Het netwerk uit lokale laagvoltage bovengrondse netwerken. De hoofdlijnen gaan van paal naar paal om vervolgens van hutje naar hutje te gaan. De dieselleveranties gaan volgens een vast schema, meestal halfjaarlijks een vast aantal barrels diesel. In alle dorpen is deze voorraad voortijdig op. Het moment waarop dit gebeurt varieert tussen een derde en twee derde van de leveringstermijn met een gemiddelde van rond de helft.



Figuur 55 Impressie huidig elektriciteitsnetwerk Boven Suriname gebied

De generatoren draaien gemiddeld van zeven uur 's avonds tot elf uur 's avonds en voorzien de dorpen voornamelijk van licht. De generatoren worden dan ook vaak lichtmotor genoemd. Verder zijn er een enkele radio en televisie en met name in de winkels en in enkele privéhuizen enkele koelkasten of vriezers. Van de laatste twee is uiteraard het probleem dat ze de lange periode zonder stroom gedurende de dag moeten overbruggen. Er worden praktisch geen elektrische mechanische apparaten op het netwerk aangesloten. Mechanische apparaten hebben of zelf een kleine verbrandingsmotor, zoals kettingzagen en rijstpellers, of worden op een kleine, vaak draagbare generator aangesloten, voor bijvoorbeeld elektrische schuur- of zaagmachines.



Figuur 56 Impressie gebruiksdoelen elektriciteit in Boven Suriname gebied

De bewoners van het gebied betalen niks voor hun elektriciteitsvoorziening. De generatoren zijn geschonken, evenals het distributienetwerk en de diesel. Op Botopasi zijn ooit elektriciteitsmeters geïnstalleerd, maar die functioneren niet meer. Omdat er geen enkele individuele beloning is om minder energie te gebruiken wordt er kwistig mee omgesprongen. Lampen staan altijd aan, al is er niemand in een huisje. Op enkele plekken worden wel gloeilampen door spaarlampen vervangen. De bewoners koppelen het voortijdig opraken van de diesel niet aan het hoge gebruik.

5.2 Probleembeschrijving

Op dit moment is elektriciteit zeer beperkt in tijd en hoeveelheid beschikbaar in de dorpen van ons onderzoeksgebied. Enkele kleine dorpen hebben helemaal niet de beschikking over elektriciteit. Door de Nederlandse overheid wordt basis elektriciteitsvoorziening als cruciaal gezien voor het voltooien van alle millennium development goals.²⁸

Microwaterkracht is een van de opties om elektriciteit te voorzien in afgelegen gebieden. Om een fatsoenlijke afweging te kunnen maken tussen microwaterkracht en andere opties, moet bekend zijn wat de voor- en nadelen zijn. Voor alle opties geldt dat bekend moet zijn wat de behoefte is aan elektriciteit, wat voor organisatievormen voor financieel beheer, onderhoud en operationeel gebruik inpasbaar zijn in de locale cultuur en of en wat voor mogelijkheden en behoefte er bestaan om economische activiteiten te ondernemen met behulp van de geleverde stroom.

Verder geldt specifiek voor de optie microwaterkracht dat bekend moet zijn wat het potentieel is tegen welke prijs, omdat niet zomaar overal een microwaterkrachtcentrale geplaatst kan worden en een groot deel (75 %)²⁹ van de kosten van microwaterkracht locatieafhankelijk zijn. Hiervoor moeten veel hydrologische en ruimtelijke randvoorwaarden bekend zijn, zoals het hoogteverschil dat benut kan

²⁸ Ministerie van Ontwikkelingssamenwerking, Energiebeleid Nederlandse Ontwikkelingssamenwerking, 2006

²⁹ Khennas en Barnet, Best practices for sustainable development of micro hydro power in developing countries, 2000

worden, het verloop van de waterafvoer door het jaar heen, de afstand van een locatie tot het dorp en de afstanden binnen de dorpen en de dichtheid van de bewoning.

5.3 Doelstelling

De doelstelling voor dit deelonderwerp is trachten zoveel mogelijk missende informatie wat betreft ruimtelijke en hydrologische randvoorwaarden aan te vullen, zodat een goede afweging van de voor- en nadelen van microwaterkracht mogelijk is, mits aangevuld met verdere gegevens die buiten dit onderzoek vallen, zoals de sociale structuur van het gebied en opties om gebaseerd daarop een onderhouds-, beheer- en betaalstructuur op te zetten.

5.4 Analyse

5.4.1 Wat is een microwaterkrachtcentrale?

Er is geen eenduidige definitie van een microwaterkrachtcentrale. De meeste definities maken een verschil tussen een grote waterkrachtcentrale, miniwaterkrachtcentrale, microwaterkrachtcentrale en soms picowaterkrachtcentrale op basis van vermogen. Er zijn meerdere definities waar de grenzen tussen deze categorieën liggen. In Tabel 27 zijn er enkele gegeven.

Definities van micro-, mini- en kleine waterkrachtcentrale			
	Micro [kW]	Mini [kW]	Klein [kW]
Verenigde Staten	< 100	100 - 1.000	1000 - 30.000
China	-	< 500	500 - 25.000
Frankrijk	5 - 5.000	-	-
India	< 100	100 - 1.000	1.000 - 15.000

Tabel 27 Definities van micro-, mini- en kleine waterkrachtcentrale, bron: C. Dragu, T. Sels en R. Belmans, *Small Hydro Power State of The Art and Applications*, 2002

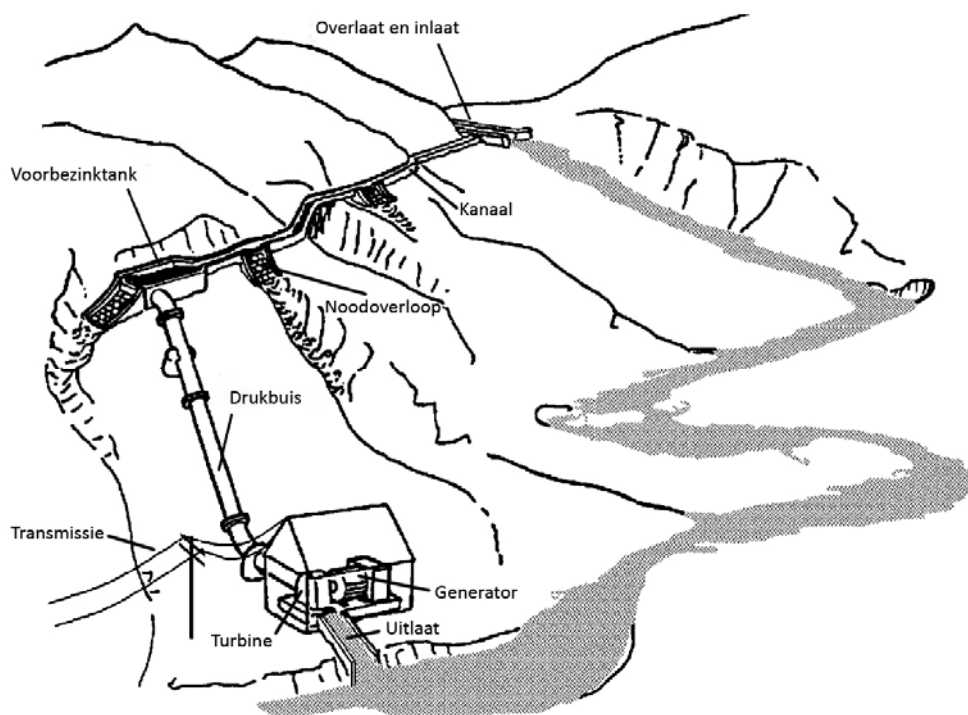
Buiten het vermogen worden vaak ook andere kenmerken aangedragen om microwaterkracht te definiëren ten opzichte van “gewone” waterkracht. Deze kenmerken zijn alleen niet altijd een goede indicator en worden nog vaker dan de vermogensgrenzen door elkaar gebruikt. Twee eigenschappen worden vaak aangehaald, namelijk dat een microwaterkrachtcentrale slechts een geringe ingreep in de omgeving mag veroorzaken en dat microwaterkrachtcentrales vaak buiten het bereik van het nationale netwerk liggen en dus lokaal stroom leveren.

In het kader van dit rapport wordt aangehouden dat een centrale met een geringe ingreep in de omgeving, die niet aangesloten is op het nationale netwerk en een vermogen genereert dat kleiner is dan 500 kW een microwaterkrachtcentrale genoemd mag worden.

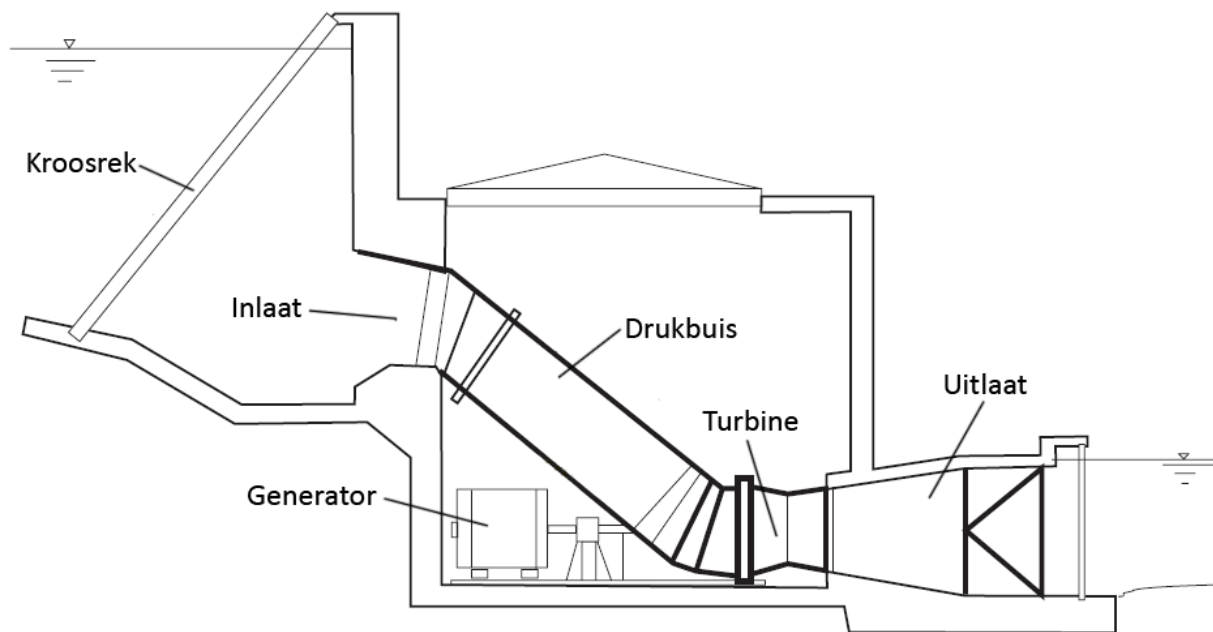
5.4.2 Hoe ziet een microwaterkrachtcentrale eruit?

Een microwaterkrachtcentrale bestaat uit meerdere onderdelen die niet noodzakelijk altijd aanwezig zijn. Wat er altijd moet zijn, is een voorziening om water het systeem in te laten, een voorziening om het water naar de turbine te leiden, een voorziening om de energie uit het water te halen (in de praktijk altijd een turbine) en een voorziening om het water weer terug te voeren naar de rivier of elders. Optioneel zijn voorzieningen om het mechanische vermogen om te zetten in andere vormen van energie, zoals elektriciteit. De mechanische energie kan ook direct worden gebruikt in bijvoorbeeld rijstpellers, of zaagfabrieken. Verder zijn er nog een groot aantal optionele voorzieningen die nodig kunnen zijn afhankelijk van de situatie, het budget, de wensen en eisen van de opdrachtgever en dergelijke. Dit zijn bijvoorbeeld zaken als elektrische ballast, noodoverlopen voor kanalen, spoelvoorzieningen voor een voorbezinktank en kroosrekken.

Een manier om microwaterkrachtssystemen te classificeren is of een aanvoerend kanaal of buis van de rivier afgetapt wordt of niet. Dit geeft namelijk twee verschillende algemene opzetten. Systemen met kanaal of buis worden meestal toegepast bij locaties met een groot verval, terwijl systemen die in de rivier gebouwd worden vaak gebruikt worden bij een klein verval. Schetsen met de benoeming van diverse onderdelen van deze verschillende opzetten zijn te vinden in Figuur 57 Overzicht onderdelen microwaterkrachtstelsysteem voor locaties met groot verval, bron: Oliver Paish, Small hydro power: technology and current status, 2002, pagina 543 en Figuur 58.



Figuur 57 Overzicht onderdelen microwaterkrachtstelsysteem voor locaties met groot verval, bron: Oliver Paish, Small hydro power: technology and current status, 2002, pagina 543



Figuur 58 Overzicht onderdelen microwaterkrachtstelsel voor locaties met klein verval, bron: Celso Pench, Layman's guide on how to develop a small hydro site, 1998, pagina 17

5.4.3 Werkingsprincipe

Een microwaterkrachtcentrale werkt op basis van behoud van energie. De potentiële en kinetische energie van het water wordt omgezet in kinetische energie via een aanvoerbuis en turbine. Dit kan vervolgens omgezet worden in elektrische energie via een generator. Het vermogen van een microwaterkrachtcentrale wordt bepaald door de formule 1.

$$P = \eta * \rho_{water} * g * \Delta H * Q \quad (\text{formule 1})$$

Waarin:

P	= vermogen	[W]
η	= efficiëntie	[-]
ρ_{water}	= dichtheid water	[kg/m ³]
g	= zwaartekrachtversnelling	[m/s ²]
ΔH	= verschil in energiehogte	[m]
Q	= debiet	[m ³ /s]

De efficiëntieparameter is afhankelijk van de onderdelen die gebruikt zijn in het systeem. De efficiëntie kan beïnvloed worden door meer te investeren in efficiëntere onderdelen. De parameter wordt opge maakt uit een combinatie van de efficiëntie van alle onderdelen van het systeem. Vaak wordt onderscheidt gemaakt in de efficiëntie van de turbine, de microwaterkrachtcentrale als geheel en de hele keten tot de huisaansluitingen. Deze zijn variaties van formule 2.

$$\eta_{totaal} = \eta_{kanaal} * \eta_{buis} * \eta_{turbine} * \eta_{generator} * \eta_{trafo} * \eta_{transmissie} * \eta_{...} \quad (\text{formule 2})$$

Met deze variaties van de efficiëntie zijn ook verschillende vermogens uit te rekenen met formule 1. Meestal wordt onderscheiden: $P_{\text{potentieel}}$ als het vermogen dat hydraulisch beschikbaar is, dus met een efficiëntie van één, P_{bruto} als het vermogen dat door de microwaterkrachtcentrale aan het lokale elektriciteitsnet geleverd wordt en P_{netto} als het vermogen dat daadwerkelijk beschikbaar is in alle huisaansluitingen gecombineerd. De totale efficiëntie van een goed ontworpen systeem met hoogwaardige tot redelijke hoogwaardige onderdelen ligt rond de 0,5³⁰. Voor lokaal ontworpen en gefabriceerde systemen kan dit veel lager zijn.

De dichtheid van water en de zwaartekrachtversnelling zijn voor een gegeven locatie constanten. Deze parameters uit formule 1 kunnen dus niet geoptimaliseerd of beïnvloed worden.

Meer verschil in energiehoogte, vanaf hier versimpelt als verval, levert lineair meer vermogen op. Het zelfde lineaire verband geldt voor een groter debiet. Deze parameters uit formule 1 zijn dus belangrijk om te optimaliseren in een zoektocht naar een locatie. In een natuurlijk systeem is het debiet niet constant voor een gegeven locatie, maar verandert gedurende het jaar. Daarom is het van groot belang om van potentiële locaties te weten wat deze variaties zijn door het jaar heen. Omdat een microwaterkracht in principe geen stuwmeer heeft en dus geen buffermechanisme wordt vaak op een minimaal debiet ontworpen. Welke onderschrijdingskans daarbij geaccepteerd wordt, is een afweging tussen leveringszekerheid en vermogen. Een keuze voor meer vermogen levert dan een kleinere leveringszekerheid op en omgekeerd. Dit gaat er vanuit dat voor een locatie het maximale potentieel gebruikt gaat worden. Als er minder dan het maximum gebruikt gaat worden, kan er tot op zekere hoogte gekozen worden voor een hoger vermogen zonder de leveringszekerheid in gevaar te brengen.

Voor een locatie met een laag verval van enkele meters kan de variatie in het verval ook nog behoorlijk van invloed zijn, in tegenstelling tot een locatie met een groot verval van enkele tientallen meters. Bij een locatie met een klein verval moet deze variatie goed bekend zijn, omdat deze grote invloed heeft op het ontwerp van de microwaterkrachtcentrale, de keus van turbine en de in- en uitlaten. Omdat bij dergelijke locaties vaak laag verval met hoog debiet wordt gecombineerd en omgekeerd, is het handig om een zo flexibel mogelijke turbine te installeren.

5.4.4 Overige factoren

Buiten het technisch werkingsprincipe zijn er nog tal van factoren die een rol spelen bij de realisatie van een microwaterkrachtcentrale. Ten eerste zijn er nog andere technische zaken, zoals het omzetten van energie in elektriciteit, de verschillende distributiemogelijkheden zoals accu's of een lokaal netwerk, het omgaan met overcapaciteit, de uitbreidingsmogelijkheden in de toekomst en het benodigde onderhoud.

Ten tweede zijn er de economische aspecten, zoals de bezettingsgraad van de centrale gedurende de dag, de week en het jaar, de te verwachten groei in de eerste jaren, de economisch renderende doelen

³⁰ Khennas en Barnet, Best practices for sustainable development of micro hydro power in developing countries, 2000

voor de energie, de tariefstelling, de managementopzet, de verschillende mogelijkheden voor financiering met subsidies, donaties en leningen, de vergelijking van de kosten met andere mogelijkheden om energie te voorzien en dergelijke.

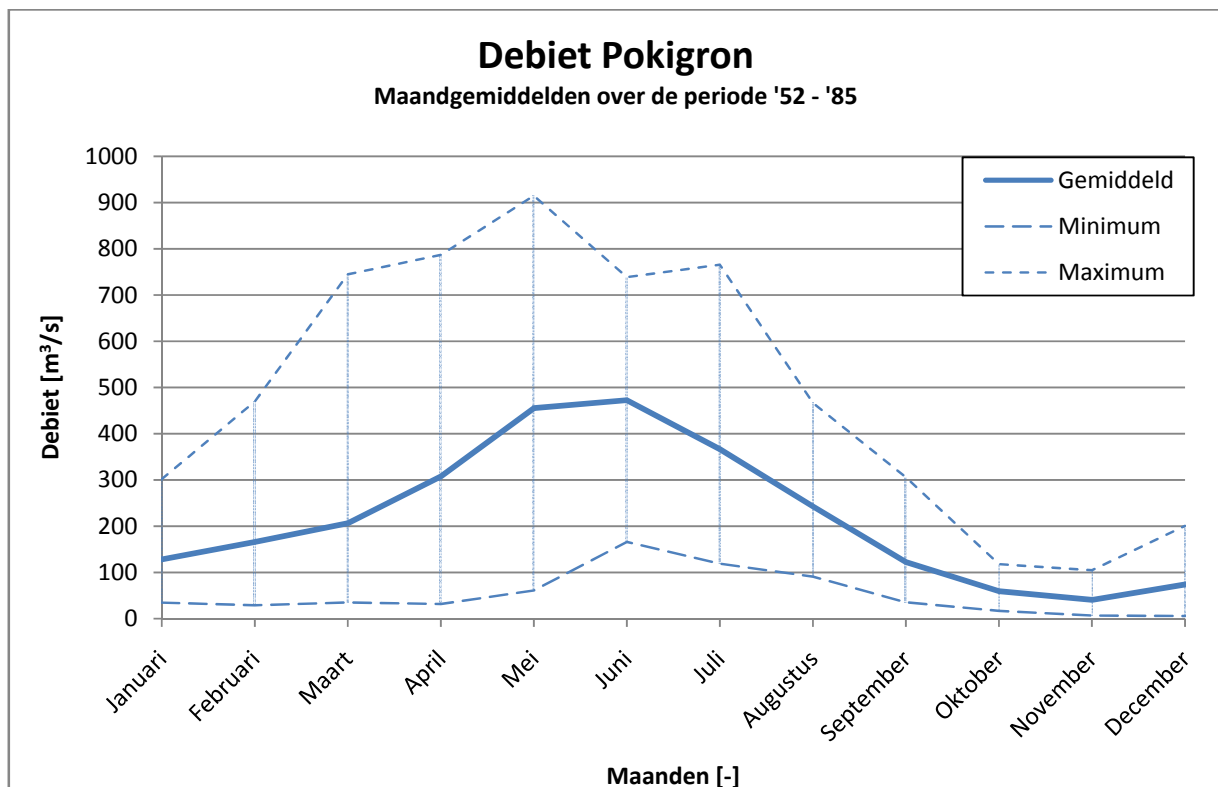
Ten derde zijn er de sociale aspecten, zoals de inpassing in de lokale cultuur, de managementopzet, de onderhoudstraining, het te verwachten effect op de mensen, het te verwachten effect op de sociale structuur, de allerarmste en de vrouwen, het voorkomen van illegale aftappingen, de wenselijkheid voor wie en waarom, het verlies van een traditionele leefwijze, de schade aan het milieu en het verlies van inkomsten van de huidige voorzieningen.

Deze factoren bepalen vaak voor een belangrijker deel het succes van een microwaterkrachtcentrale dan de technische en hydrologische factoren. In de rest van dit rapport zullen ze soms aangehaald worden, maar de nadruk zal liggen op het technische en hydrologische deel. De hydrologische factoren bepalen op een gegeven locatie of het überhaupt mogelijk is om een microwaterkrachtcentrale te bouwen en tegen welke kosten.

5.5 Microwaterkracht in het Boven Suriname Gebied

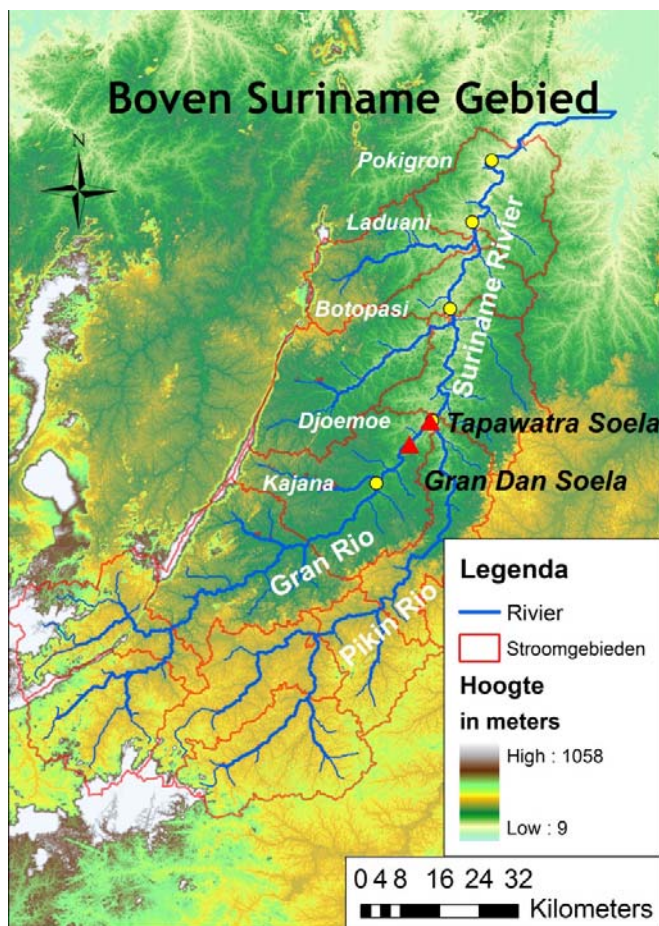
In tegenstelling tot bijvoorbeeld een dieselgenerator, kan een microwaterkrachtcentrale niet overal geïnstalleerd worden. Een microwaterkrachtcentrale heeft vrij specifieke voorwaarden nodig om te kunnen functioneren. Daarom een analyse wat de hydrologische mogelijkheden zijn in het onderzoeksgebied. Het onderzoeksgebied is het bewoonde deel van de Boven-Suriname rivier en de Gran Rio. Het gebied wordt gekenmerkt door een grote en kleine natte tijd en een grote en kleine droge tijd. Het resultaat daarvan is dat het debiet door het jaar heen behoorlijk fluctueert, evenals de waterstanden en daarmee vaak het verval.

In Figuur 59 staan de maandgemiddelden en de uiterste debieten door het jaar heen bij Pokigron, wat geheel benedenstrooms ligt, zie Figuur 4 pagina 18. Hieruit blijkt dat het debiet gemiddeld fluctueert tussen 41 m³/s in november en 473 m³/s in juni, wat een factor twaalf verschilt. De uitersten van de maandgemiddelden schelen nog veel meer, met een maximum van 915 m³/s in mei '78 en een minimum van 6 m³/s in december '65. Dit scheelt een factor 153. Dit zijn dus niet extreme dagwaarden, maar maandgemiddelden. De extreme dagwaarden zullen nog meer schelen.



Figuur 59 Maandgemiddeld debiet bij Pokigron '52 – '85, Data afkomstig van Waterloopkundige Afdeling Suriname

Potentiële locaties zijn in dit gebied de grotere stroomversnellingen (soela's in het Surinaams) in de rivier of de stroomversnellingen of watervallen in de toevoerende krekens. In de rivier zelf zijn geen hoge watervallen aanwezig. De stroomversnelling in de rivier hebben als voordeel dat er het hele jaar water stroomt, dat het debiet over het algemeen groot is en dat ze goed bereikbaar zijn. Het verval over deze stroomversnellingen kan fluctueren door het jaar heen. Bij de meeste zo veel, dat de boven- en benedenstroomse waterstand in de natte tijd geheel nivelleren, waardoor er geen verval meer is. Door dit effect zijn er in het bewoonde deel van de rivier slechts twee stroomversnellingen die in aanmerking komen voor een microwaterkrachtcentrale die het hele jaar door dient te functioneren. Dit zijn de Tapawatra en Gran Dan stroomversnellingen³¹. De watervallen in de toestromende krekens vallen zo ver ze bekend zijn droog in de grote droge tijd, waardoor ze niet geschikt zijn voor een constante stroomvoorziening.



Figuur 60 Locatie Tapawatra en Gran Dan Soela's in stroomgebied Boven Suriname gebied

³¹ dr. Naipal, Kalpoe Msc, Elektriciteitsvoorziening aan de dorpen middels micro waterkrachtwerken

5.5.1 Gran Dan

Gran Dan is een grote stroomversnelling in de Gran Rio. Deze is zowel in de natte als in de droge tijd niet bevaarbaar. De stroomversnelling bestaat uit twee vallen over een afstand van ongeveer 390 meter met een verval van samen zes meter in de droge tijd.³² Helaas zijn er geen gegevens voorhanden over de situatie in de natte tijd. Aangenomen kan worden dat het verval over de stroomversnelling kleiner is, maar niet geheel verdwijnt, omdat Gran Dan ook in de grote natte tijd onbevaarbaar is.

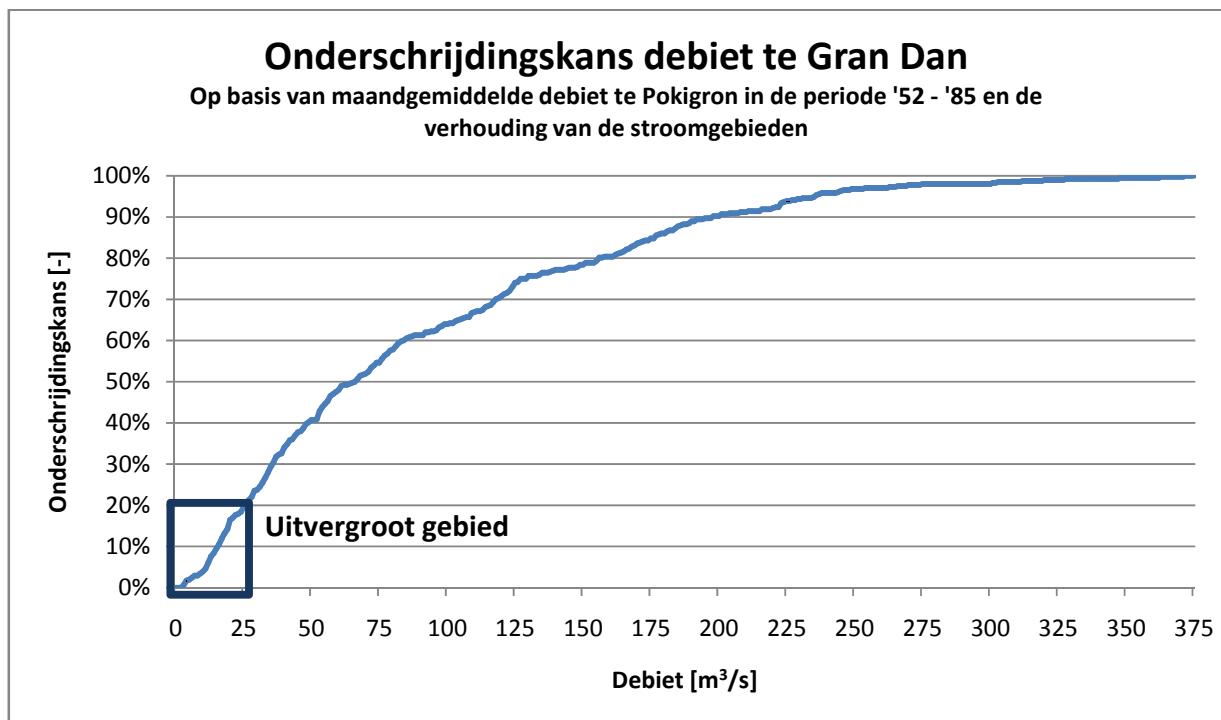


Figuur 61 Gran Dan stroomversnelling in de droge tijd 2007

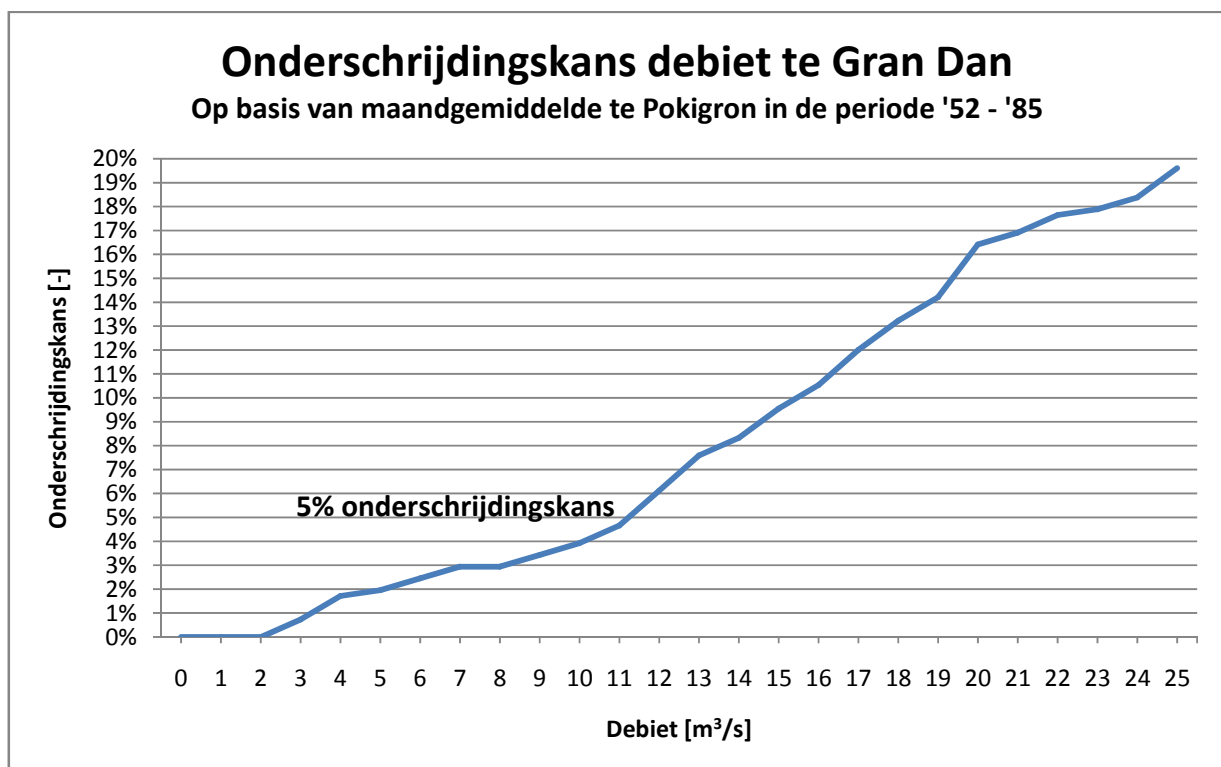
5.5.1.1 Hydrologische mogelijkheden

Bij Gran Dan zijn niet langdurig debiet- of waterstandmetingen gedaan. Voor het debiet kan een aanname gedaan worden. Bij Pokigron is een redelijke lange serie maandgemiddelde debieten voorhanden. Op basis van de grootte van het stroomgebied tot Gran Dan en tot Pokigron kan dan een vergelijking gemaakt worden met de aanname dat de neerslag in het gehele Boven-Suriname gebied maandgemiddeld gelijk is. Maandgemiddeld betekend wel dat de extreme pieken er al uitgefilterd zijn en een kleiner stroomgebied betekend over het algemeen ook grotere pieken en dalen. Bij elkaar genomen wil dit zeggen dat met deze debieten erg conservatief omgegaan dient te worden, de werkelijkheid is waarschijnlijk extremer. In Figuur 62 is de onderschrijdingskans van het debiet bij Gran Dan te vinden op basis van verhoudingen van de stroomgebieden.

³² Naipal, Kalpoe, Elektriciteitsvoorziening aan de dorpen middles microwaterkrachtwerken, 2006



Figuur 62 Onderschrijdingskans debiet te Gran Dan, bron gegevens: Waterloopkundige Afdeling Suriname



Figuur 63 Onderschrijdingskans debiet Gran Dan vergroot, brongegevens: Waterloopkundige Afdeling Suriname

Het verval bedraagt in de droge tijd over de twee vallen zes meter over een afstand van enkele honderden meters. Waarschijnlijk is dit in de natte tijd minder. Voor dit voorbeeld wordt aangenomen dat het ontwerpverval vijf meter is. Verder wordt aangenomen dat een onderschrijdingskans van 5% wordt geaccepteerd en dat een goede microwaterkrachtcentrale wordt ontworpen met een totale efficiëntie van 50%, dan volgt uit formule 1:

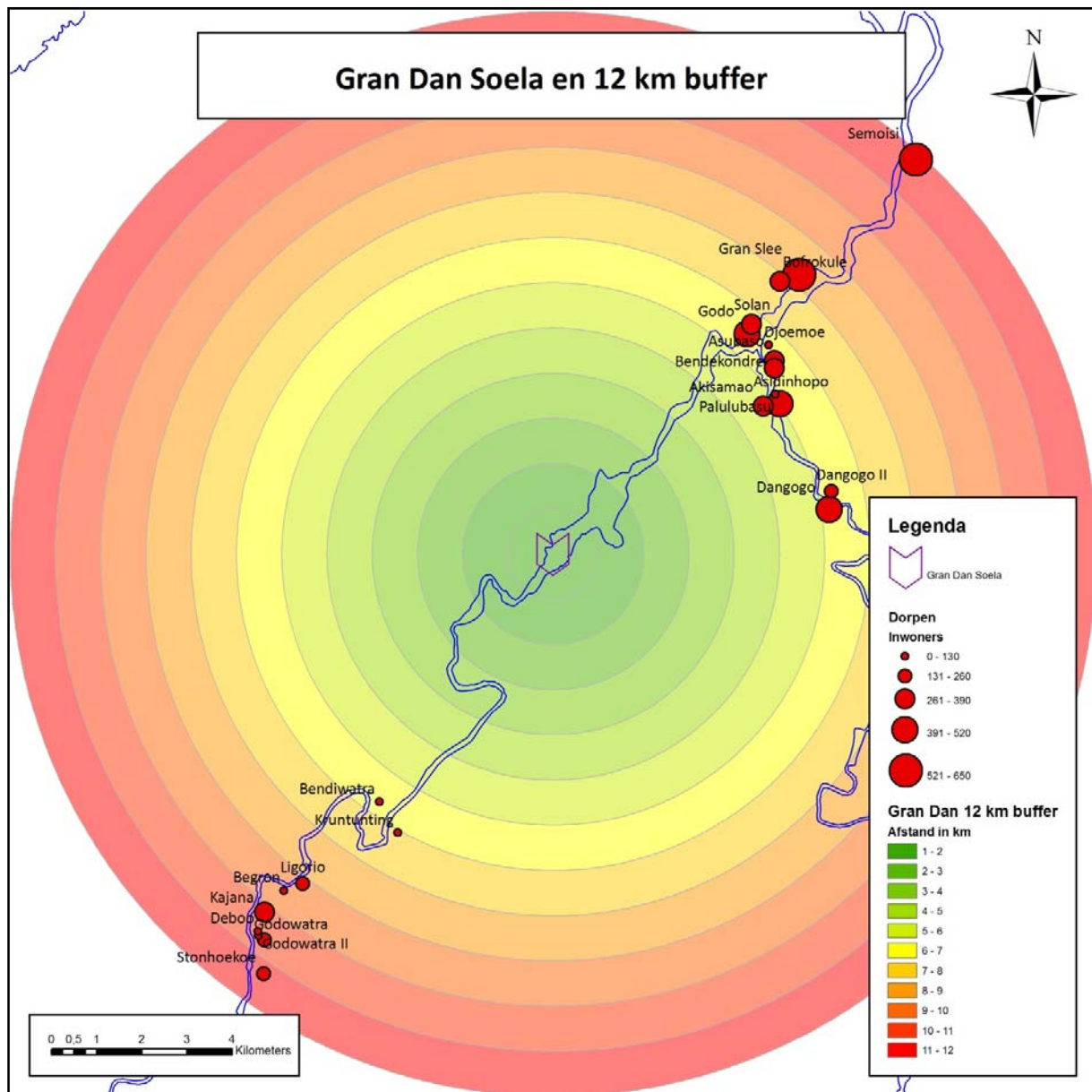
$$P = \eta * \rho_{water} * g * \Delta H * Q = 0,5 * 1000 \text{ kg/m}^3 * 9,8 \text{ m/s}^2 * 5 \text{ m} * 11,2 \text{ m}^3/\text{s} = 274 \text{ kW}$$

Bij acceptatie van een onderschrijdingskans van 10%, wordt dit:

$$P = \eta * \rho_{water} * g * \Delta H * Q = 0,5 * 1000 \text{ kg/m}^3 * 9,8 \text{ m/s}^2 * 5 \text{ m} * 15,5 \text{ m}^3/\text{s} = 380 \text{ kW}$$

Omdat er niet meer gegevens voorhanden zijn, is het niet mogelijk meer te zeggen dan dat Gran Dan een aantrekkelijke locatie lijkt op basis van de hydrologische randvoorwaarden. Het is alleen wel nodig zeker een jaar lang de waterstanden direct boven- en benedenstrooms van de stroomversnelling te meten, samen met enkele debietmetingen. Dit moet gecombineerd worden met regendata uit het stroomgebied, om te kijken of het een nat, droog of gemiddeld jaar is. Aan de hand van deze gegevens kan dan een redelijke goede inschatting gemaakt worden wat de kans op welke debieten en waterstanden is. Met deze gegevens kan dan vervolgens een ontwerp gemaakt worden voor een microwaterkrachtcentrale en daarmee wat het vermogen is dat opgewekt kan worden.

Buiten de hydrologische randvoorwaarden zijn er natuurlijk meer factoren van belang. Zo is een groot nadeel van Gran Dan, dat het niet in de directe nabijheid van grote concentraties mensen is. De opgewekte stroom zal over relatief grote afstanden getransporteerd moeten worden.



Figuur 64 Twaalf km buffer rondom Gran Dan met de aanwezige dorpen gecategoriseerd op inwoneraantal, bron achtergrondkaart: Het vervaardigen van een Digitaal Terrein Model van het stroomgebied van de Boven-Suriname rivier, Kalpoe, D.

In Figuur 64 staat de locatie van de Gran Dan met daaromheen een twaalf kilometer buffer. Hier valt uit op te maken dat binnen deze twaalf kilometer, 22 dorpen liggen. Deze zijn geclusterd in twee groepen. Het ene cluster ligt rondom vliegveld Kajana en telt ongeveer 916 inwoners. Het andere cluster ligt rond vliegveld Djoemoe en telt ongeveer 4.239 inwoners. De bevolkingsgegevens zijn overigens niet echt betrouwbaar. Voor een overzicht en beschrijving van de gebruikte methode, zie Bijlage H: Demografie in Boven Suriname Gebied.

De afstanden tussen de dorpen en Gran Dan en de grootte en onderlinge afstanden van de dorpen zelf zijn met behulp van een draagbaar GPS-apparaat ingemeten. Ook zijn de locaties van de huidige generatoren ingemeten, mocht er gebruik gemaakt gaan worden van het huidige distributienetwerk. Deze zijn te vinden in Bijlage H: Demografie in Boven Suriname Gebied.

5.5.2 Tapawatra

Tapawatra is de tweede stroomversnelling met potentie. De stroomversnelling bestaat uit een grote granietbank die dwars over de Gran Rio loopt net voordat deze samenvloeit met de Pikin Rio om de Suriname rivier te vormen. De stroom is in de droge tijd geconcentreerd aan de linkerzijde in een iets lager gelegen stroomgeul. Er sijpelt wel een ongedefinieerde hoeveelheid water door de granietbank door spleten en scheuren. In de natte tijd stroomt water over de hele breedte.

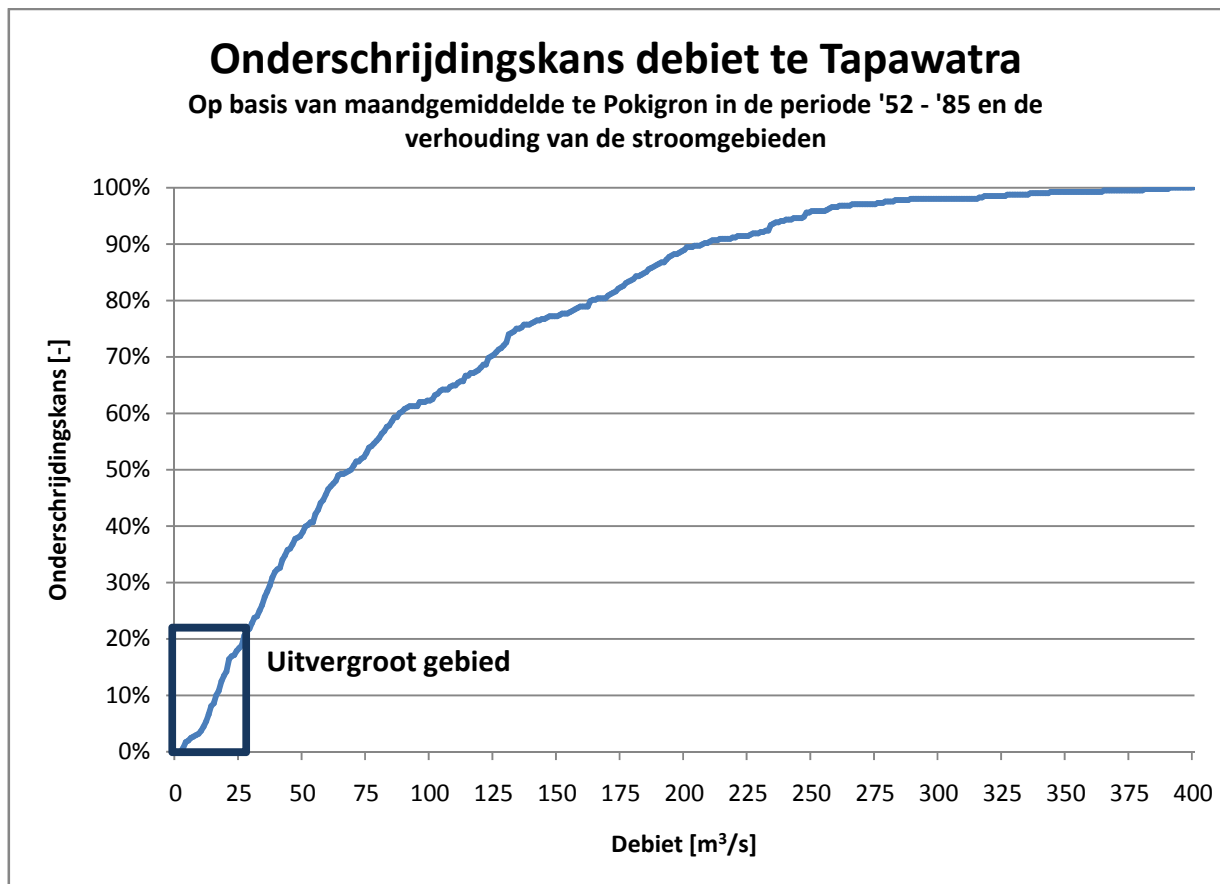
5.5.2.1 Hydrologische mogelijkheden

Het verval is lastig vast te stellen. In 1978 zijn er al ver gevorderde plannen geweest hier een microwaterkrachtcentrale aan te leggen³³, maar onder andere door de binnenlandse oorlog is dit niet doorgegaan. Hiervoor is echter wel een half jaar lang, gedurende een droge en natte tijd het verval dagelijks gemeten. Hieruit bleek dat het tussen de 3,20 m en 3,74 m lag met een gemiddelde van 3,50 m. Het jaar van meten was benedenstrooms bij Pokigron een redelijk gemiddeld jaar en ook de regendata van de meetstations in het gebied laten een redelijk gemiddeld jaar zien. Er werd dan ook gekozen voor een ontwerpdebiet van 3,50 m.

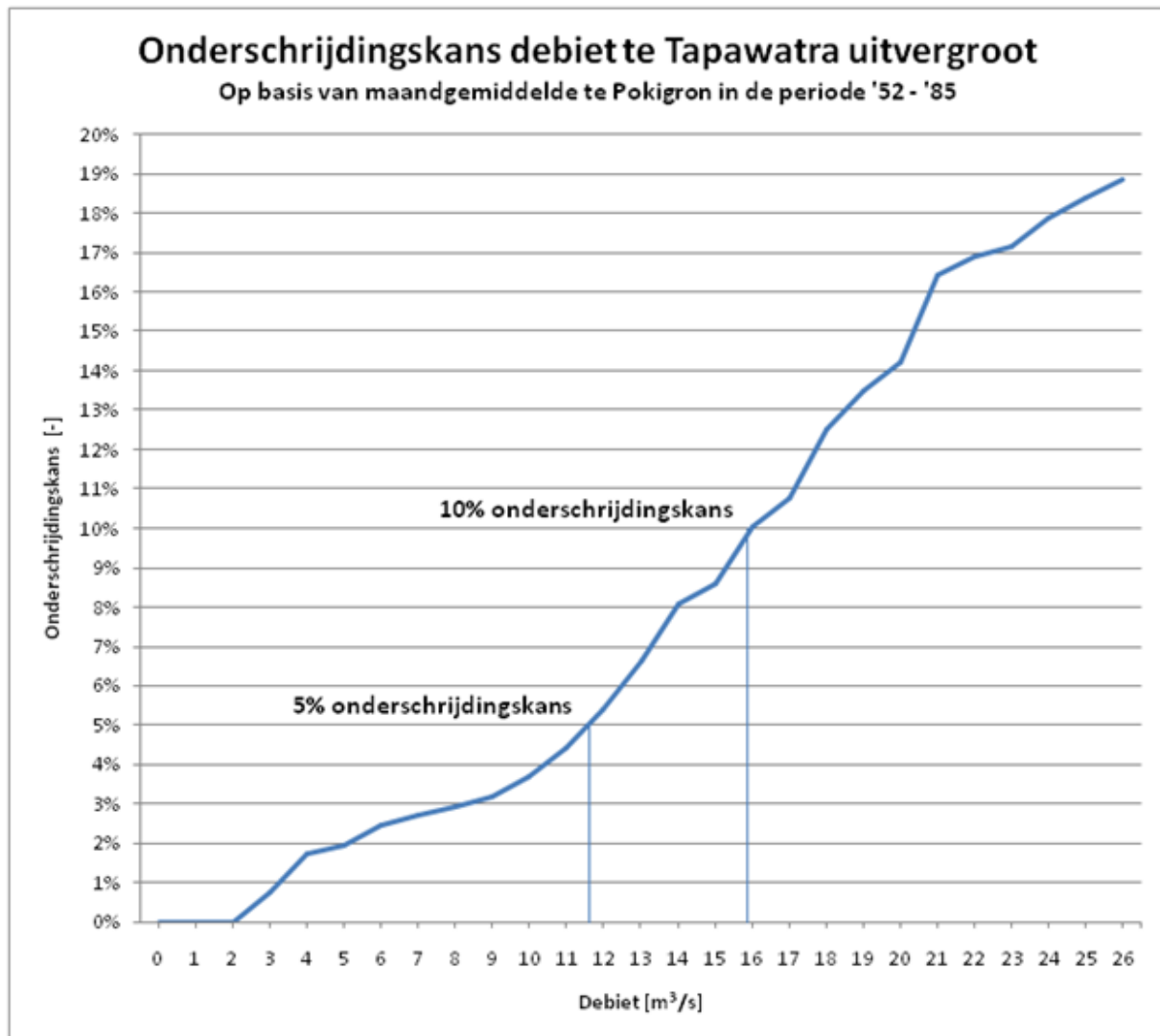
In 2006 is er echter een nieuwe verkenning geweest en deze heeft op een dag een verval van 4,2 m gemeten. Aan de andere kant zeggen sommige bewoners dat de stroomversnelling in de natte tijd ook wel eens helemaal onderloopt, zodat er praktisch geen verval meer is. Het is dus lastig om te zeggen met welk verval gewerkt zou moeten worden. Ook omdat de benedenstroomse waterstand ook sterk afhankelijk is van het debiet in de Pikin Rio en daarmee vrij onafhankelijk van de bovenstroomse waterstand in de Gran Rio. Het is dus aan te raden om wederom een jaar lang de boven- en benedenstrooms waterstanden dagelijks te meten, gecombineerd met enkele debietmetingen en een jaar lang regengegevens. Op deze wijze kan een redelijk goede inschatting gegeven worden van het verval en het debiet door het jaar heen, waarmee een goed ontwerp voor een microwaterkrachtcentrale gemaakt kan worden.

³³ Breeveld, Het Tapawatra W.K.W, 1978

Voor Tapawatra kunnen op de zelfde wijze als voor Gran Dan de debieten bij Pokigron omgerekend worden naar debieten bij Tapawatra. Hiervoor geldt ook de zelfde waarschuwing dat hier erg conservatief mee omgegaan dient te worden, omdat de pieken waarschijnlijk extremer zijn. In Figuur 65 staat de onderschrijdingskans van een bepaald debiet die op deze wijze verkregen is.



Figuur 65 Onderschrijdingskans debiet te Gran Dan, bron gegevens: Waterloopkundige Afdeling Suriname



Figuur 66 Onderschrijdingskans debiet te Gran Dan uitvergroot, bron gegevens: Waterloopkundige Afdeling Suriname

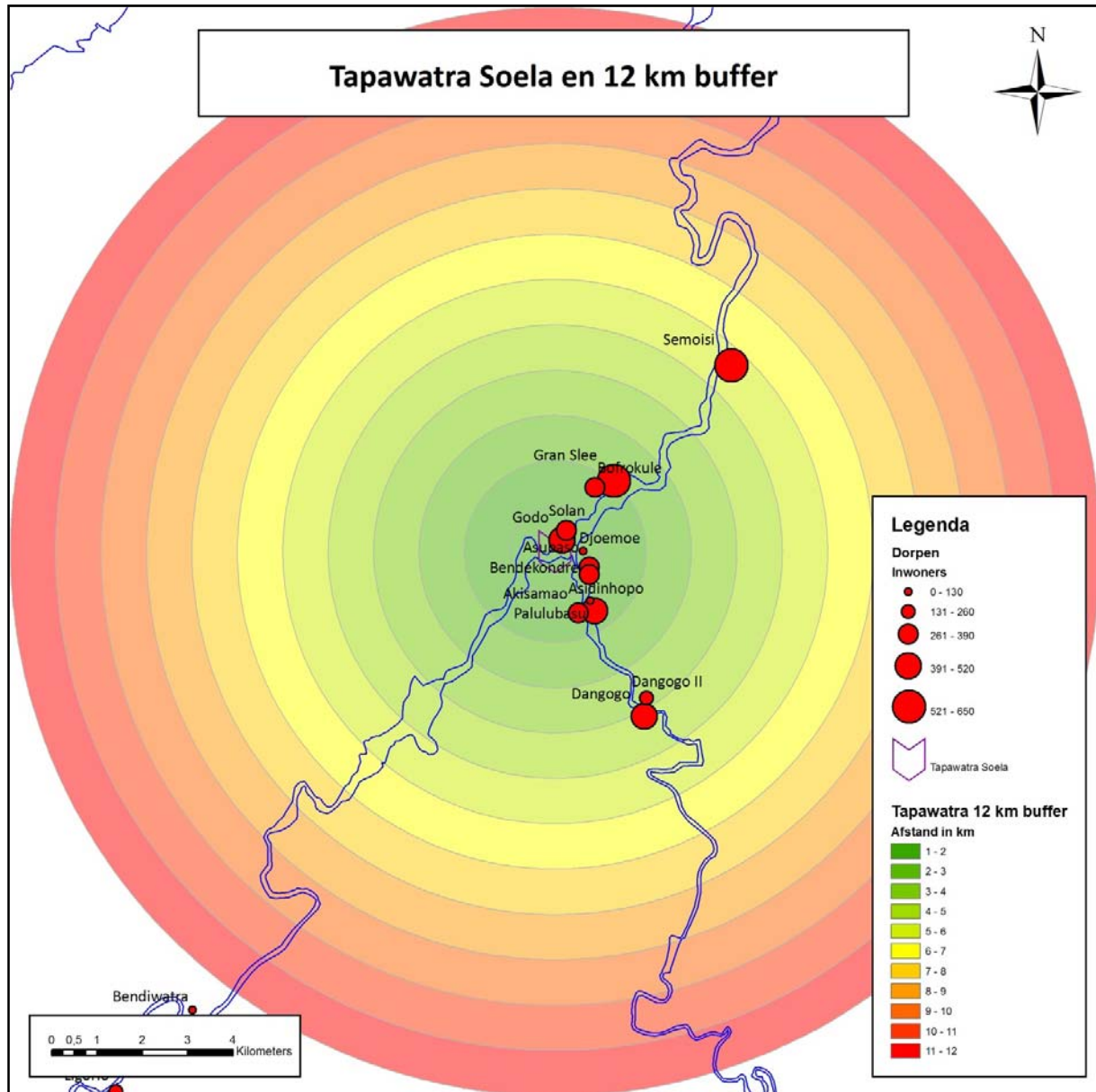
Met de aanname dat het ontwerpverval 3,50 m bedraagt omdat deze waarde gebaseerd is op langdurige metingen, dat een onderschrijdingskans van 5% wordt geaccepteerd en dat een goede microwaterkrachtcentrale wordt ontworpen met een totale efficiëntie van 50%, dan volgt uit formule 1:

$$P = \eta * \rho_{water} * g * \Delta H * Q = 0,5 * 1000 \text{ kg/m}^3 * 9,8 \text{ m/s}^2 * 3,50 \text{ m} * 11,7 \text{ m}^3/\text{s} = 201 \text{ kW}$$

Bij acceptatie van een onderschrijdingskans van 10%, wordt dit:

$$P = \eta * \rho_{water} * g * \Delta H * Q = 0,5 * 1000 \text{ kg/m}^3 * 9,8 \text{ m/s}^2 * 3,50 \text{ m} * 16,0 \text{ m}^3/\text{s} = 274 \text{ kW}$$

Buiten de hydrologische randvoorwaarden zijn er natuurlijk meer factoren van belang. Zo is een groot voordeel van Tapawatra, dat het in de directe nabijheid van grote concentraties mensen is. De opgewekte stroom zal over relatief korte afstanden getransporteerd kunnen worden.



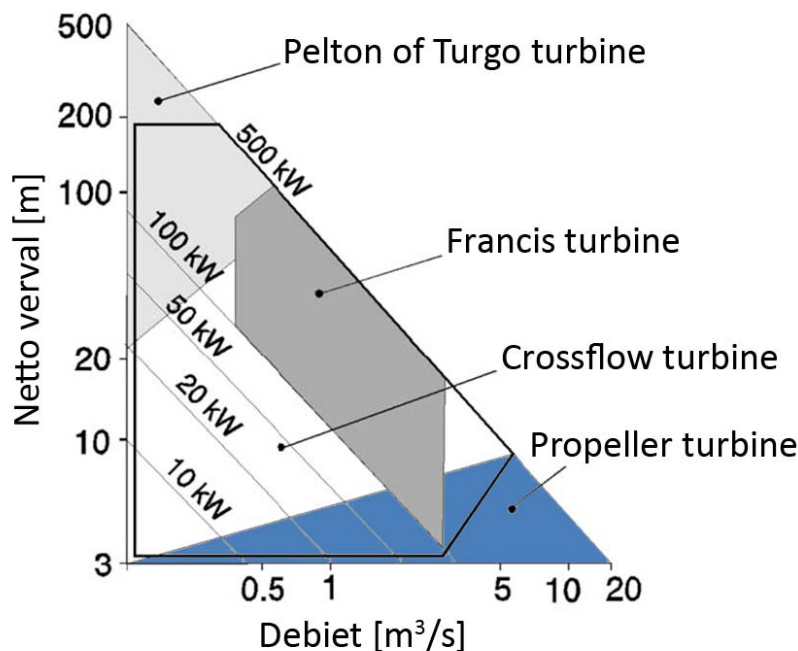
Figuur 67 Twaalf km buffer rondom Tapawatra met de aanwezige dorpen gecategoriseerd op inwoneraantal, bron achtergrondkaart: Het vervaardigen van een Digitaal Terrein Model van het stroomgebied van de Boven-Suriname rivier, Kalpoe, D.

In Figuur 67 staat de locatie van de Tapawatra in het centrum met daaromheen dezelfde twaalf kilometer buffer. Hier valt uit op te maken dat binnen deze twaalf kilometer, de spreiding van de dorpen en de grootte van de dorpen veel gunstiger is. De bevolkingsgegevens zijn overigens ook niet echt

betrouwbaar. Voor een overzicht en beschrijving van de gebruikte methode, zie Bijlage H: Demografie in Boven Suriname Gebied.

De afstanden tussen de dorpen en de Tapawatra en de grootte en onderlinge afstanden van de dorpen zelf zijn met behulp van een draagbaar GPS-apparaat ingemeten. Ook zijn de locaties van de huidige generatoren ingemeten, mocht er gebruik gemaakt gaan worden van het huidige distributienetwerk. Deze zijn te vinden in Bijlage I: Dorpenclusters Boven Suriname gebied

Met de voorhanden zijnde gegevens en een groot aantal aannames is het mogelijk om een eerste ontwerp te maken voor een eventuele microwaterkrachtcentrale.

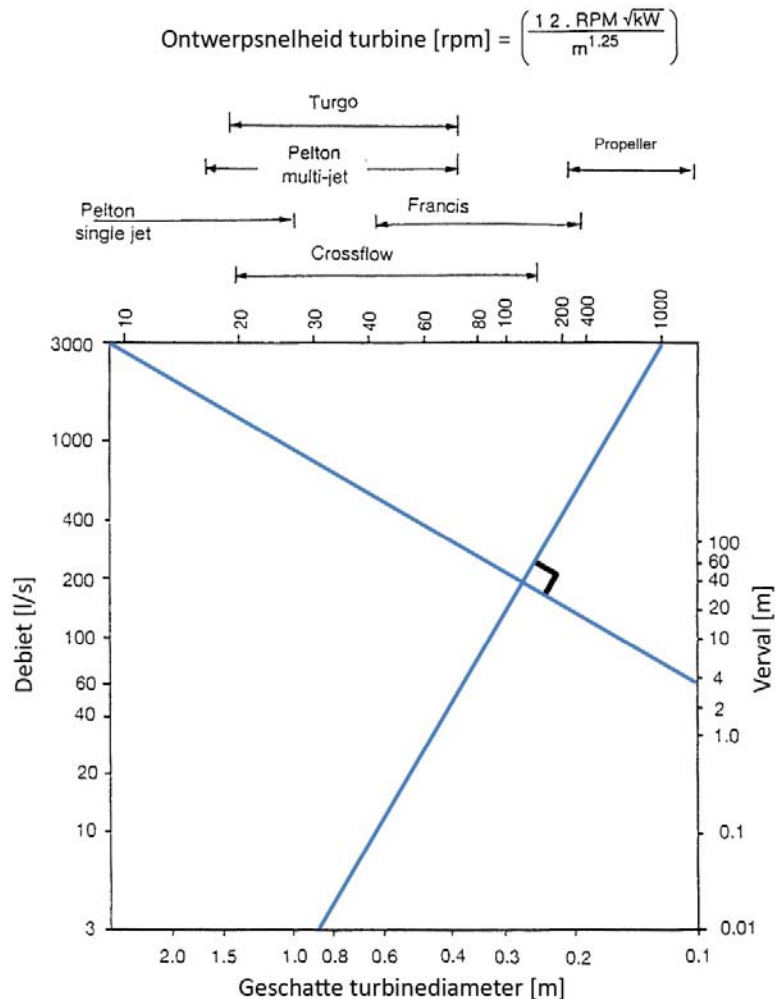


Figuur 68 Toepassingsgebied wat betreft verval en debiet voor verschillende types turbine, Bron: Small hydro power: technology and current status, Oliver Paish, 2002, pagina 543

Uit Figuur 68 is op te maken dat bij de debieten en vervallen waar we ongeveer zitten, er één, misschien twee opties zijn voor het type turbine dat geschikt is. De propeller turbine lijkt de beste kandidaat, maar een groot aantal crossflow turbines behoort ook tot de mogelijkheden.

Als we uitgaan van het ontwerpverval voor de centrale die gepland was en een keuze voor een onderschrijdingskans van 5%, dan kunnen we met behulp van Figuur 69 inzicht krijgen in de grote van de turbine, het type en het aantal turbines dat noodzakelijk is. Er blijken drie tot vier turbines noodzakelijk

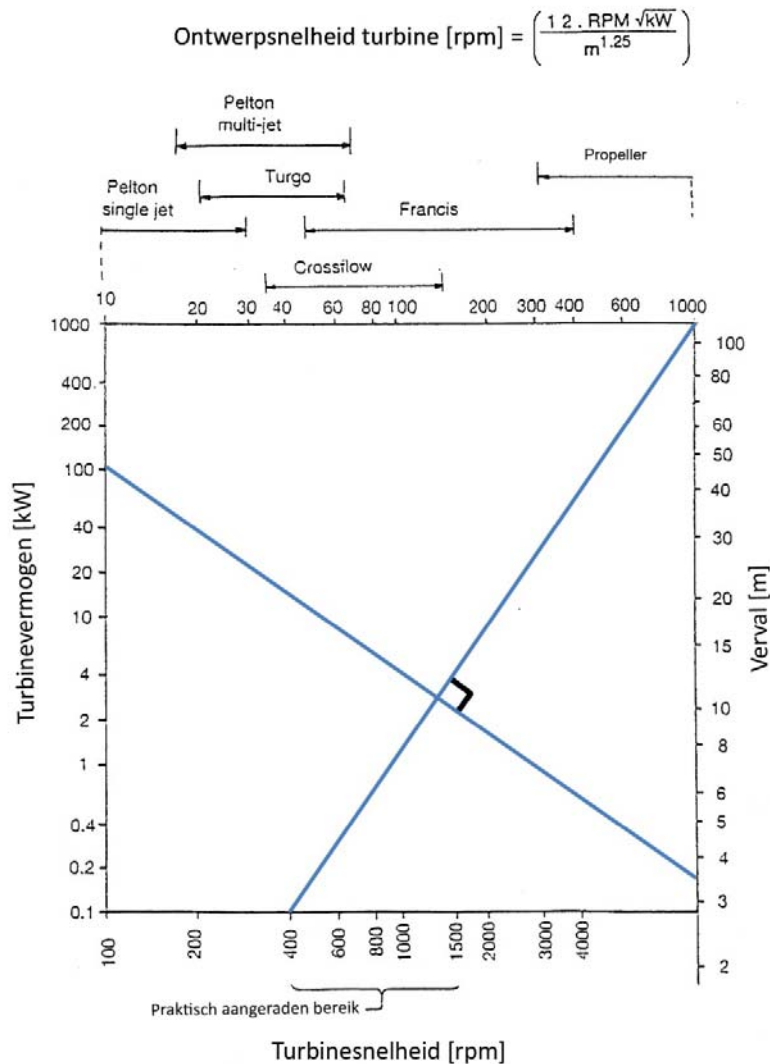
als voor een propeller type gekozen wordt, met een diameter van ongeveer 0,9 m.



Figuur 69 Relatie verval, debiet, turbinediameter en ontwerpsnelheid microwaterkrachtcentrale te Tapawatra, Bron: Micro-Hydro design manual, a guide to small-scale water power schemes, Adam Harvey, 1993, pagina 156

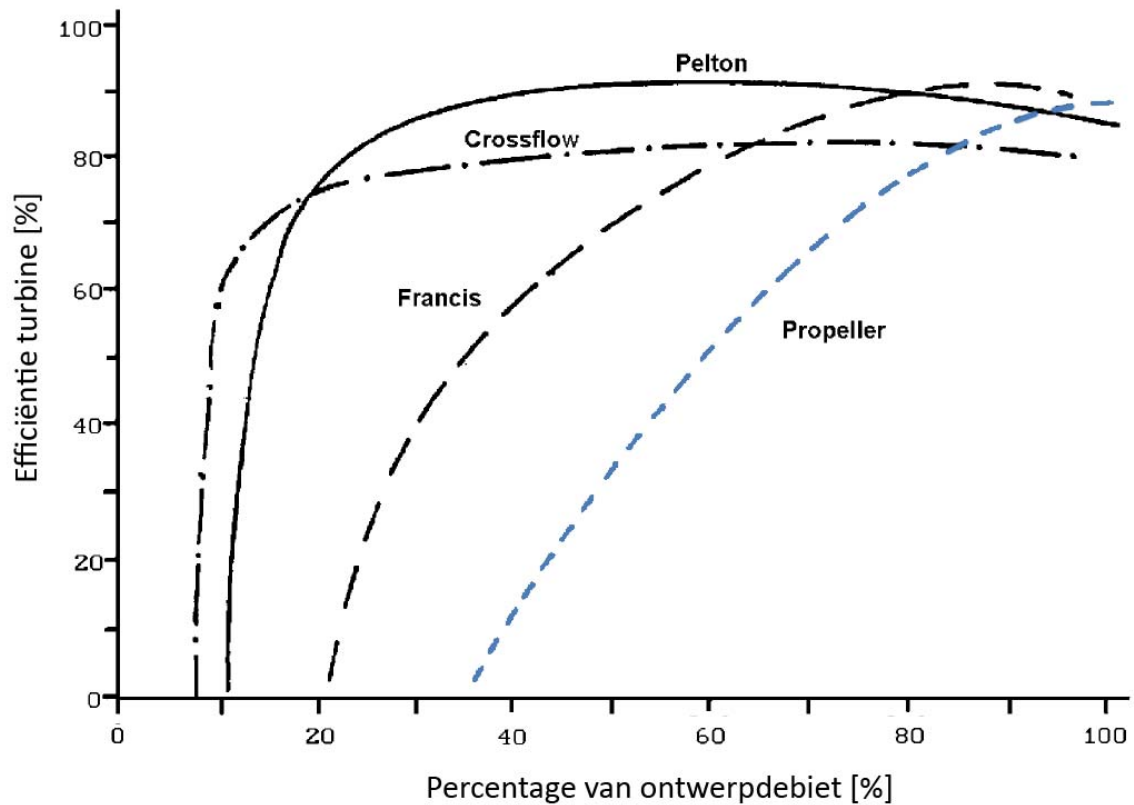
Uit deze grafiek blijkt ook dat de crossflow turbine voor deze locatie toch niet aantrekkelijk is, omdat dit zou betekenen dat er ongeveer 30 turbines en dus ook 30 generatoren geïnstalleerd zouden moeten worden.

Als deze verkregen gegevens ingevuld worden in Figuur 70 met het uitgangspunt dat voor de turbinesnelheid de onderkant van het praktisch aangeraden bereik gekozen wordt in verband met kostenbesparing, dan wordt gevonden dat het vermogen ongeveer 100 kW per turbine is. Voor vier turbines zou dit neerkomen op een vermogen van 400 kW.



Figuur 70 Relatie verval, turbinesnelheid, ontwerpsnelheid en turbinevermogen microwaterkrachtcentrale te Tapawatra, Bron: Micro-Hydro design manual, a guide to small-scale water power schemes, Adam Harvey, 1993, pagina 156

Het blijkt dat praktisch gezien alleen de propeller turbine in aanmerking komt voor toepassing in een dergelijke microwaterkrachtcentrale. Het voordeel van dit type turbine is dat deze sterk lijkt op een schepsschroef en daardoor vaak lokaal gefabriceerd kan worden. Dit is zowel voordelig voor de kosten als voor onderhoud. Het nadeel van dit type turbine is dat deze een zeer slechte efficiëntie heeft bij minder dan het ontwerpdebiet, zie Figuur 71. Dit kan deels opgevangen worden doordat er meerdere turbines zijn, die onafhankelijk aan- en uitgezet kunnen worden.



Figuur 71 Efficiëntie turbines bij minder dan ontwerpdebiet, Bron: Small hydro power: technology and current status, Oliver Paish, 2002, pagina 548

Uit het voorgaande blijkt dat ondanks het relatief geringe verval het mogelijk is met drie of vier grote turbines en met behulp van het relatief grote debiet het mogelijk is een microwaterkrachtcentrale aan te leggen in de Tapawatra op basis van de hydrologische randvoorwaarden en de eisen gesteld door de mogelijke turbines. Verder zijn er goede funderingsmogelijkheden in de granietbank, zijn de afstanden tot de afnemers gering en is het gebied per boot bereikbaar. De grotere uitdaging echter is vaak niet het technische probleem, maar alle andere factoren die een rol spelen.

Op dit moment is er zeer weinig behoefte aan stroom overdag. Er zijn enkele kleine machines, maar er is niet veel economische activiteit in het gebied. Microwaterkrachtcentrales leveren echter gedurende de gehele dag stroom, dus hier moet een doel voor bedacht worden. Het lijkt erop dat de bezettingsgraad zeer laag zal zijn. Nu betalen de bewoners niet voor hun elektriciteit. Als dit gehandhaafd blijft, is het onmogelijk om in onderhoud en beheer te voorzien. Bovendien zal er geen efficiëntie bij de eindgebruiker zijn, als er niks tegenover staat. Zakelijke bedrijfsvoering wordt als belangrijkste factor

voor het succes of falen van een microwaterkrachtcentrale gezien³⁴. Verder moet er gekeken worden of andere manieren van energievoorziening, zoals het verkopen van diesel niet goedkoper is.

Ook de in de inleiding genoemde sociale aspecten zijn in dit rapport niet behandeld. Is er afdoende kennis en vaardigheid aanwezig om onderhoud en beheer te kunnen doen? Hebben de mensen wel behoefte aan stroom in hun cultuur? Wat is het effect op vrouwen en de allerarmste? Kan er betaald worden voor stroom? Als er betaald moet worden, hoe worden aftappingen voorkomen? Wie verliest inkomsten door deze nieuwe centrale? Is de schade aan het milieu acceptabel? Deze vragen moeten ook zorgvuldig beantwoord worden, samen met de resterende technische vragen.

5.6 Conclusie

Met de gegeven hydrologische en hydraulische randvoorwaarden is het mogelijk om een microwaterkrachtcentrale te bouwen in het Boven Suriname gebied. Tapawatra lijkt de meest voor de hand liggende locatie, gezien de nabijheid van afnemers, maar hydraulisch heeft Gran Dan ook goede mogelijkheden. Er is echter nog zeker een jaar metingen nodig voordat dit met meer zekerheid gesteld kan worden.

Voor het technisch ontwerp zijn er ook nog veel opties en het lijkt erop dat een relatief dure centrale het meest geschikt is voor deze case. Het is verleidelijk zo goedkoop mogelijk te bouwen. Dit is misschien een minder goed idee dan het lijkt door de afgelegen ligging van het gebied en de gebrekkige lokale kennis. Dit samen zorg bij het minste of geringste probleem aan een goedkope, onderhoudsgevoelige centrale voor lange tijden zonder stroom. Het loont de moeite om te investeren in een degelijke, robuuste centrale.

Verder is er over de vele niet technische zaken nog zeer weinig tot niks bekend. Het blijkt dat de economische zaken, met als belangrijkste de tariefstelling en de bezettingsgraad en de sociale zaken, zoals onderhoud en acceptatie vaak belangrijker zijn voor het succes van een microwaterkrachtcentrale.

Ten slotte als alle gegevens bekend zijn, moet een afweging gemaakt worden tegenover andere energievoorzieningen. Misschien is het wel gunstiger om het aanwezige netwerk te verbeteren en de bevolking voor de diesel voor de aanwezige dieselgeneratoren een klein bedrag te laten betalen.

³⁴ Khennas en Barnet, Best practices for sustainable development of micro hydro power in developing countries, 2000

5.7 Discussie

De ligging en grootte van de dorpen zijn voor dit onderzoek ingemeten met behulp van de draagbaar GPS-apparaat. De nauwkeurigheid van deze metingen is ruim voldoende om het oppervlak van de dorpen te berekenen en de exacte ligging te bepalen voor de doeleinden van dit rapport. Echter, mocht deze informatie voor andere doeleinde gebruikt worden, kan de nauwkeurigheid niet voldoende blijken. Vaak is net binnen de laatste rij huizen gebleven, waardoor de laatste tien, vijftien meter mist. Ook kan de afhankelijkheid van verschillende lokale gidsen, die ons beter of minder goed rondgeleid kunnen hebben, onnauwkeurigheid opgeleverd hebben. Er is geen manier om dit goed in te kunnen schatten.

De gegevens voor verval en debiet zijn slechts indicatief. Het is noodzakelijk dit gedurende een jaar goed te meten, beneden- en bovenstrooms van de Tapawatra en Gran Dan.

Omdat de aanwezige gegevens zo indicatief waren is het niet gelukt om een fatsoenlijk kostenoverzicht te creëren. Hiermee is het dus ook niet mogelijk om dit te vergelijken met bijvoorbeeld de huidige generatoren. Het is noodzakelijk dat dit wel gebeurd als meer gegevens voorhanden zijn.

De gebruikte bevolkingsgegevens zijn onbetrouwbaar, zie bijlage. Op het moment van het veldwerk werd er echter werk gemaakt van permanente registratie en een begin gemaakt met het opzetten van een burgerlijke stand. De onzekerheid wat betreft dit punt zou dus af moeten nemen in de toekomst.

5.8 Aanbevelingen

- Een jaar lang boven- en benedenstrooms de waterstanden meten van de Gran Dan en de Tapawatra. Dit combineren met nauwkeurig de dwarsprofielen meten en bij verschillende waterstanden enkele debietmetingen doen.
- Economische analyse maken van de verschillende opties voor elektriciteitsvoorziening, de bezettingsgraad, het creëren van een economisch doel voor de stroom en dergelijke.
- Sociale analyse maken van de impact van een microwaterkrachtcentrale en de manier waarop onderhoud, beheer en tariefstelling het best geïntegreerd kan worden in de lokale cultuur.
- Als er een microwaterkrachtcentrale gebouwd gaat worden, verdient het de aanbeveling deze zeer degelijk en robuust te maken. Het gebied is dusdanig afgelegen en de lokale technische kennis gebrekkig, dat men te afhankelijk is van Paramaribo. Als het financieel niet mogelijk is een degelijke, robuuste centrale te bouwen, kan deze beter niet gebouwd worden, omdat deze dan toch binnen enkele jaren buiten gebruik zal zijn, zonder dat iemand kennis of geld heeft om dit te repareren.

6 Bronnen

Boeken

Design of open-channels and hydraulic structures, Ir. P. Ankum, 2002

Hydrology of Catchments, Prof. dr.ir. H.H.G. Savenije, 2006

Hydrological Measurements, ir. W.M.J. Luxemburg, prof. dr. ir. H.H.G. Savenije, 2007

Harvey, A. , Micro-Hydro design manual, a guide to small-scale water power schemes, 1993

Penche, C., Layman guide on how to develop a small hydro site, 1998

Dijk, van, Drinking water, water treatment technology, 2006

Rapporten

Brinke, W. ten en Botterweg, Overstroming Suriname 2006

US Army Corps of Engineers, Mobile District & Topographic Engineering Center, 2001

Kalpoe, D. , Het vervaardigen van een Digitaal Terrein Model van het stroomgebied van de Boven-Suriname rivier, 2006

Breeveld, Het Tapawatra W.K.W, 1978

Naipal, Kalpoe, Elektriciteitsvoorziening aan de dorpen middels microwaterkrachtwerken, 2006

Nurmohamed, R.J. , Een Methode voor systematisch onderzoek naar het micro- en miniwaterkrachtpotentieel in het binnenland van Suriname, 1998

Afstudeerverslag drinkwatervoorziening in het binnenland van Suriname, *locatie Bibliotheek Anton de Kom Universiteit Suriname, exacte titel, auteur en jaar van publicatie zijn helaas verloren gegaan*

Doekhie, Raheena, Voorlopig Afstudeerverslag, november 2007

Ministerie van Ontwikkelingssamenwerking, Energiebeleid Nederlandse Ontwikkelingssamenwerking, 2006

Papers

Muskingum-Cunge Flood Routing Procedure in NRCS Hydrologic Models, Merkel, W.H. 2002

Groen en Savenije, A monthly interception equation based on the statistical characteristics of daily rainfall 2006

Khennas en Barnet, Best practices for sustainable development of micro hydro power in developing countries, 2000

Paish, O. , Small hydro power: technology and current status, 2002

C. Dragu, T. Sels en R. Belmans, Small Hydro Power State of The Art and Applications, 2002

Fulford, D., Mosley, P. en Gill, A., Recommendations on the use of micro hydro power in rural development, 2000

Internet

www.wikipedia.org, www.wikipedia.nl, zoekterm pathogene micro-organismen en variaties, UV-straling en desinfectie, Suriname, oktober en november 2007

earth.google.com, gebruikt voor het krijgen van een impressie van het gebied en om een schatting te maken van de grootte verhouding van de twee takken bij Laduani, november 2007

www.lenntech.nl, gebruikt voor informatie over en de dosering van UV-desinfectie, november 2007

www.uneto-vni.nl, november 2007, gebruikt voor het bereken van op te slaan regenwater

www.pipda.be, november 2007, gebruikt voor informatie over UV-inactiveringsmechanisme

www.vwkweb.nl , gebruikt voor informatie over het klimaat in Suriname, augustus 2007

Bijlage A: Berekening waarschuwingsmodel

Het waarschuwingsmodel is grotendeels geschreven in het spreadsheet programma Excel. Wegens praktische voordelen is er gewerkt met Excel versie 2007 waardoor deze niet in oudere versies te openen is. Voor elke locatie is een aparte Excel-file aangemaakt met het bijbehorende model.

- Voor Kajana: Kajana_debiet1
Kajana_debiet2
- Voor Djoemoe: Djoemoe_debiet
- Voor Botopasi: Botopasi_debiet
- Voor Laduani: Laduani_debiet

Elke file is opgezet met 3 tabbladen:

1. Ruw
2. In het profiel
3. Q-h

Omdat in Kajana 2 snelheidsmetingen zijn gedaan heeft deze 2 sheets gekregen. Hierin zijn alleen tabblad 1 en 2 verschillend, 3 is hetzelfde.

Tabblad 1. Ruw

Hierin staan de metingen van de watersnelheid: de tijd die floats erover gedaan hebben, de afstand en de bijbehorende waterstand.

Tabblad 2. In het profiel

Hierin zijn de snelheidsmetingen van tabblad 1 verder uitgewerkt zodat het debiet berekent wordt. Het dwarsprofiel dat door projectgroep 2006 gemeten is wordt hierbij gebruikt. De volgende kolommen zijn opgenomen:

x-coördinaat [m]	x-nieuw [m]	y-coördinaat [m]	y-nieuw [m]	waterstand [cm]	snelheid [m/s]	oppervlakte [cm ²]	Oppervlakte [m ²]	factor [-]	debiet [m ³ /s] [m ³ /s]	P [m]
---------------------	----------------	---------------------	----------------	--------------------	-------------------	-----------------------------------	----------------------------------	---------------	---	----------

- x-coördinaat: De x-coördinaat zoals bepaald door projectgroep 2006.
- x-nieuw: De x-coördinaat zo verschoven zodat één van de oevers overeenkomt met 0 meter.
- y-coördinaat: De y-coördinaat zoals bepaald door projectgroep 2006.
- y-nieuw: De y-coördinaat verschoven met de verticale verplaatsing zoals toegepast in het veld.
- waterstand: De waterstand waarbij de snelheidsmeting gedaan is.
- snelheid: De snelheid bij de betreffende x-coördinaat.
- oppervlakte: De oppervlakte tussen y-nieuw en de waterstand op de betreffende x-coördinaat.
- factor: De toegepaste factor om te corrigeren voor meetfouten zoals ondieptes en stroomversnellingen.
- Q: Het debiet berekent door het toepassen van de snelheid – oppervlakte methode.
- P: De natte straal, wordt alleen gebruikt voor de berekening van s en k , zie hieronder.

Onder de tabel wordt de helling met de simplified slope area method berekent, als voorbeeld zie Figuur 72.

526.82	85.89	213.15	5.60E-06	85.24	2.471589	37.7	
A	factor	Q	P	slope	debiet check	R	K

Simplified slope area method

Figuur 72 Voorbeeld simplified slope area method

Onderaan de spreadsheet staat de berekening van de ruwheidcoëfficiënt k met Strickler, als voorbeeld zie Figuur 73.

Indien s uit DTM wordt gehaald:	Periode	A	Q	s	R	K
	droog	526.82	85.89	3.5E-04	2.47	4.8
	v_gem (m/s)	0.16				

Figuur 73 Berekening ruwheidscoëfficiënt van Strickler

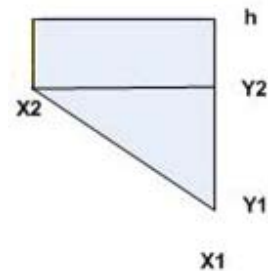
Tabblad 3. Q-h

In dit tabblad wordt de Q-h kromme berekent. Het bestaat uit 2 grote matrix: de bovenste voor de berekening van de oppervlakte, de onderste voor de berekening van de hydraulische straal. Tussen de twee matrix in staat de interface, herkenbaar aan de gekleurde vakken.

Aan de kolommen van de matrix is een extra kolom toegevoegd “y-nodig”. Hierin zijn de y-coördinaten zo verschoven dat het laagste punt in de rivier gelijk is aan 0. Horizontaal staat de diepte oftewel waterhoogte in stappen van 5 cm.

De oppervlakte tussen twee opeenvolgende x-coördinaten en bijbehorende y-coördinaten wordt berekend door:

$$\text{Oppervlakte in vlak } [x_1 - x_2] = (h - (y_1 + y_2)/2) * \text{ABS}(x_1 - x_2)$$



De natte omtrek tussen twee opeenvolgende x-coördinaten en bijbehorende y-coördinaten wordt berekend door:

$$\text{Natte omtrek in vlak } [x_1 - x_2] = \text{wortel}((x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2)$$

Door de waarden per interval te sommeren wordt de totale oppervlakte en de totale natte omtrek verkregen per waterniveau in stappen van 5 cm. Deze waarden, in combinatie met de variabelen k en s leiden tot het gezochte debiet Q. De variabelen kunnen ingevoerd worden in de interface die midden in de sheet aan de linker kant staat. In het blauwe veld staan de hoogtes die van belang zijn, het gele veld is voor de invoer van gegevens, de groene voor de uitvoer, als voorbeeld zie Figuur 74.

h min	-189	invoer:	k rivier	7					A (m2)	1048
h meting 1	172		k bank	3						
h meting 2	155		s droog	3,0E-04					P (m)	250
h mei 06	820		s nat	4,0E-04						
h max	1045		h (cm)	820	Q (m3/s)	471	V (m3/s)	0,45	R (m)	4,19

Figuur 74 Voorbeeld interface

h min: De laagst mogelijke waterhoogte (bodem rivier) in cm.

h meting: De waterhoogte waarbij de snelheidsmetingen zijn gedaan in cm.

h mei 2006: De hoogwaterstand van mei 2006 in cm.

h max: De hoogst mogelijke waterhoogte (profiel is niet verder bekend) in cm.

k rivier: De k-waarde die aan de bedding is toegekend in $\text{m}^{1/3}/\text{s}$.

k bank: De k-waarde die aan de oevers is toegekend in $\text{m}^{1/3}/\text{s}$.

s droog: De helling van de rivier in de droge periode.

s nat: De helling van de rivier in de natte periode.

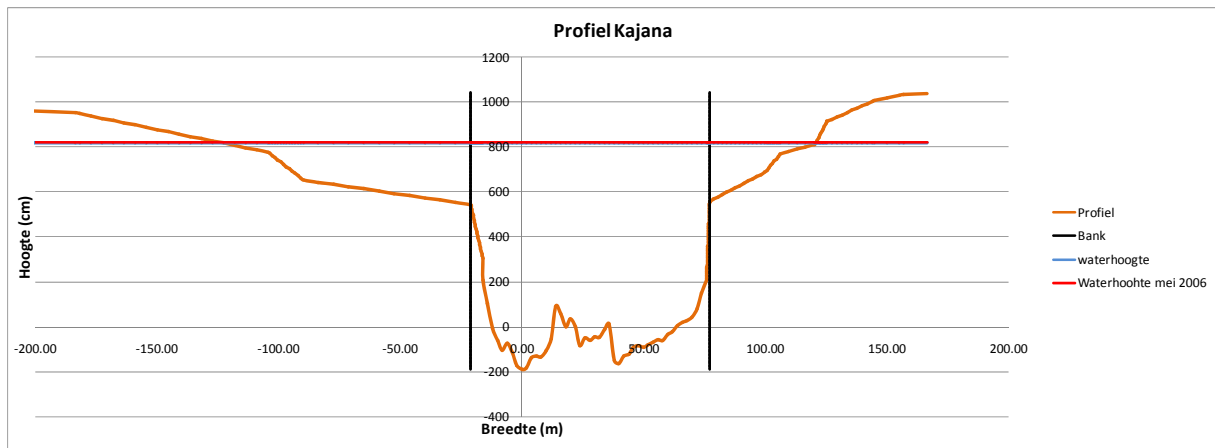
h :	De waterhoogte die resulteert in de gegevens in de groene vakken in cm.
Q :	Het debiet in m^3/s .
V :	De stromingssnelheid in m/s .
A :	De oppervlakte van de dwarsdoorsnede in m^2 .
P :	De natte omtrek in m.
R :	De hydraulische straal in m.

Onder deze velden staan 3 grafieken (bij Laduani zijn het er 4), deze passen zich aan, aan de waarden die in het gele veld worden ingevoerd.

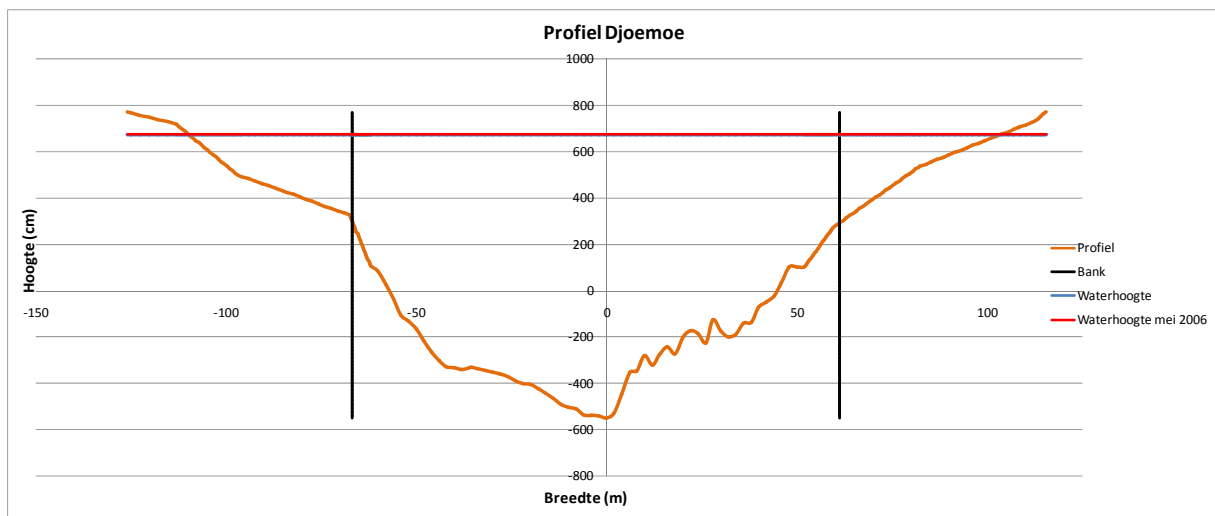
- De $Q - h$ kromme met trend lijn, geeft het debiet tegen de waterhoogte weer.
- Het profiel, hierin staat de overgang tussen rivier en oever aangegeven als “bank”. De waterhoogte van mei 2006 en de ingevoerde waterhoogte worden weergegeven.
- De $v - h$ kromme, die de snelheid tegen de waterhoogte weergeeft.

In de $Q-h$ en $V-h$ grafieken staan meerdere krommen. De doorgetrokken lijn geeft de kromme weer voor $k=7$. Andere mogelijkheden voor k worden door de gestippelde krommen weergegeven.

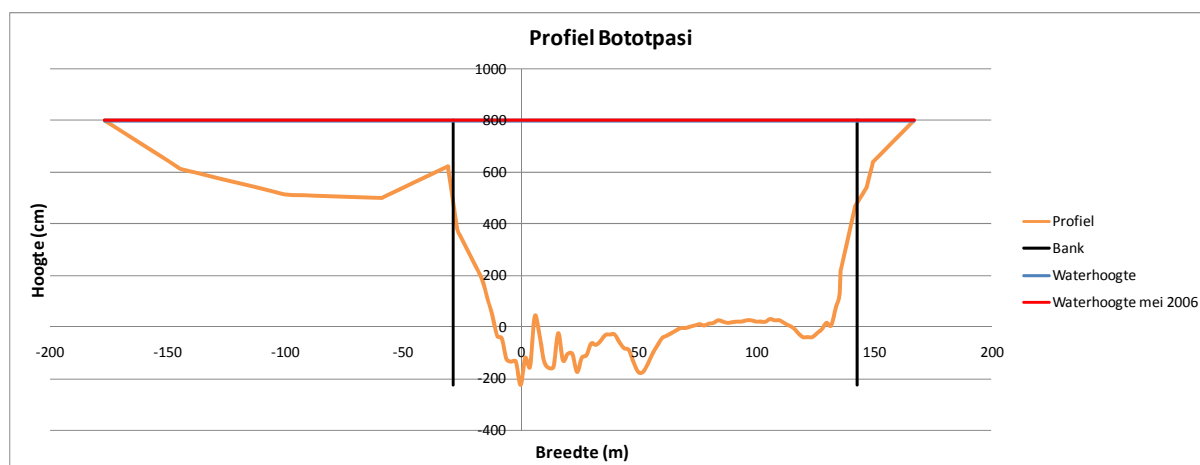
Bijlage B: Dwarsprofielen dorpen



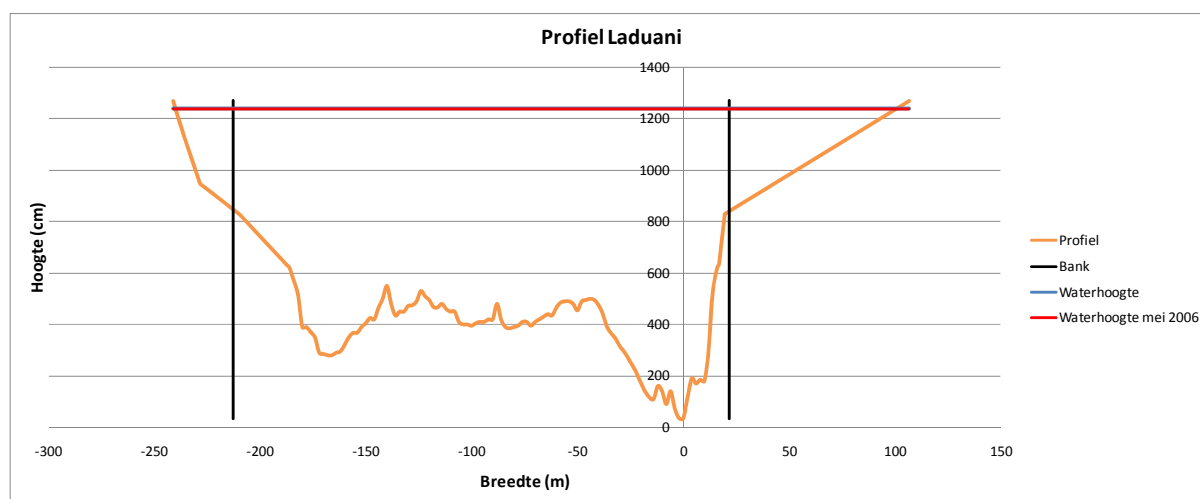
Figuur 75 Profiel Kajana



Figuur 76 Profiel Djoemoe

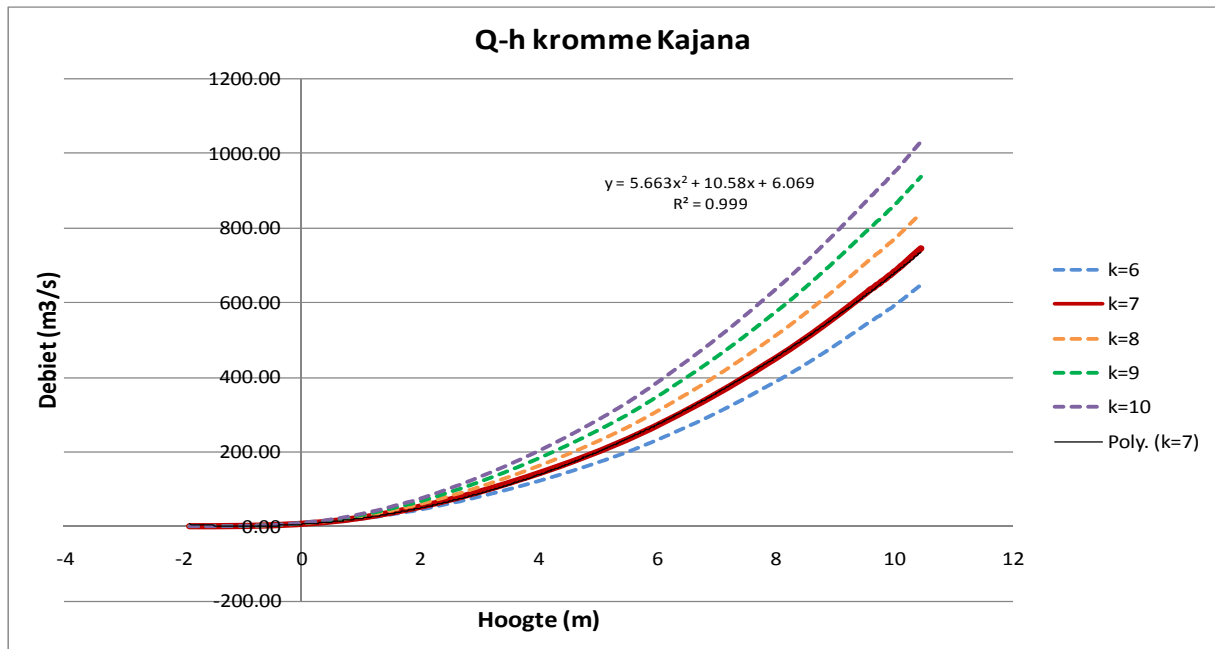


Figuur 77 Profiel Bototpasi

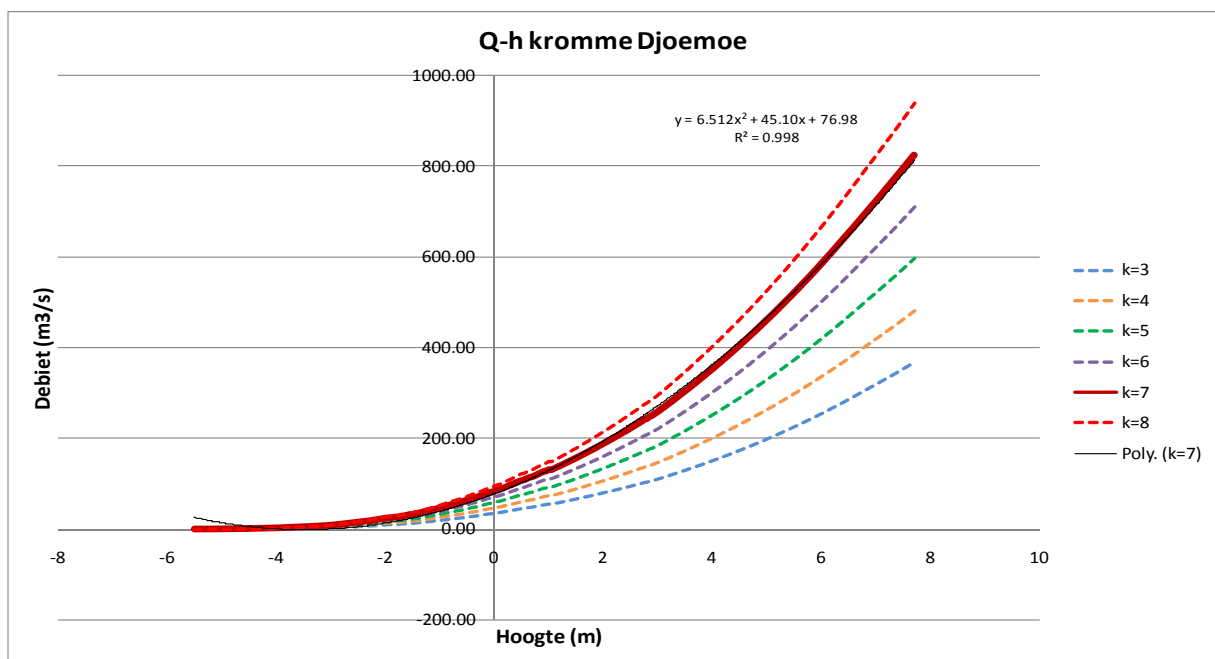


Figuur 78 Profiel Laduani

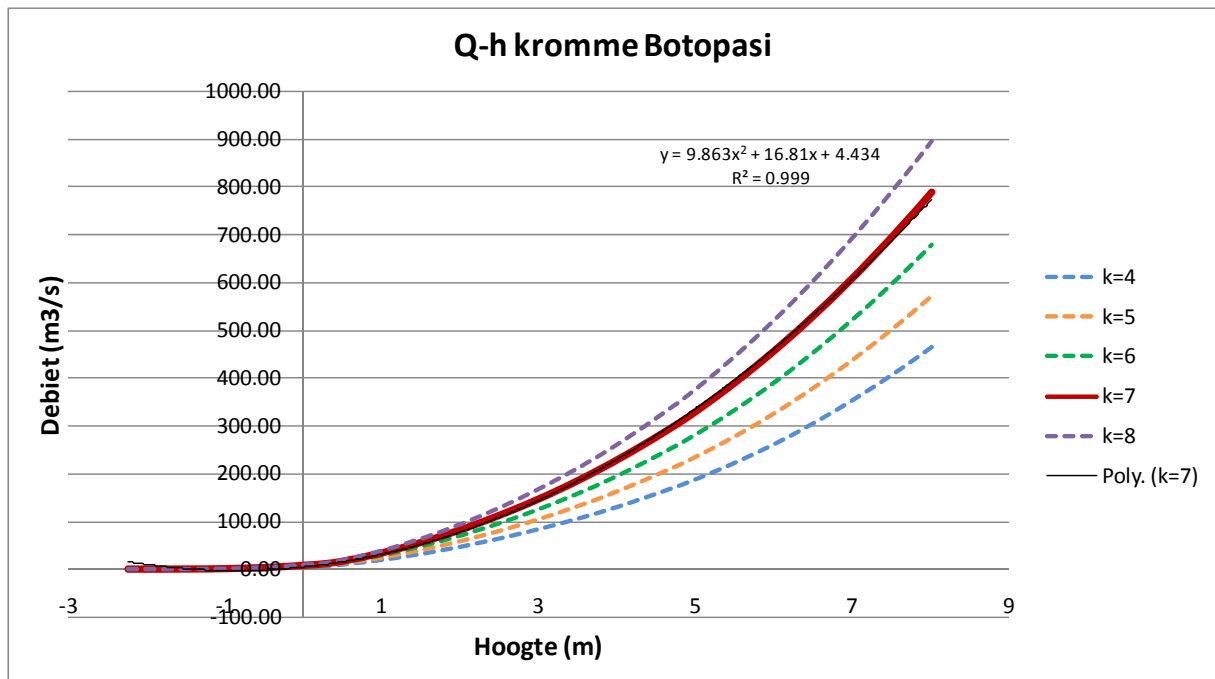
Bijlage C: Debiet – hoogte relaties dorpen



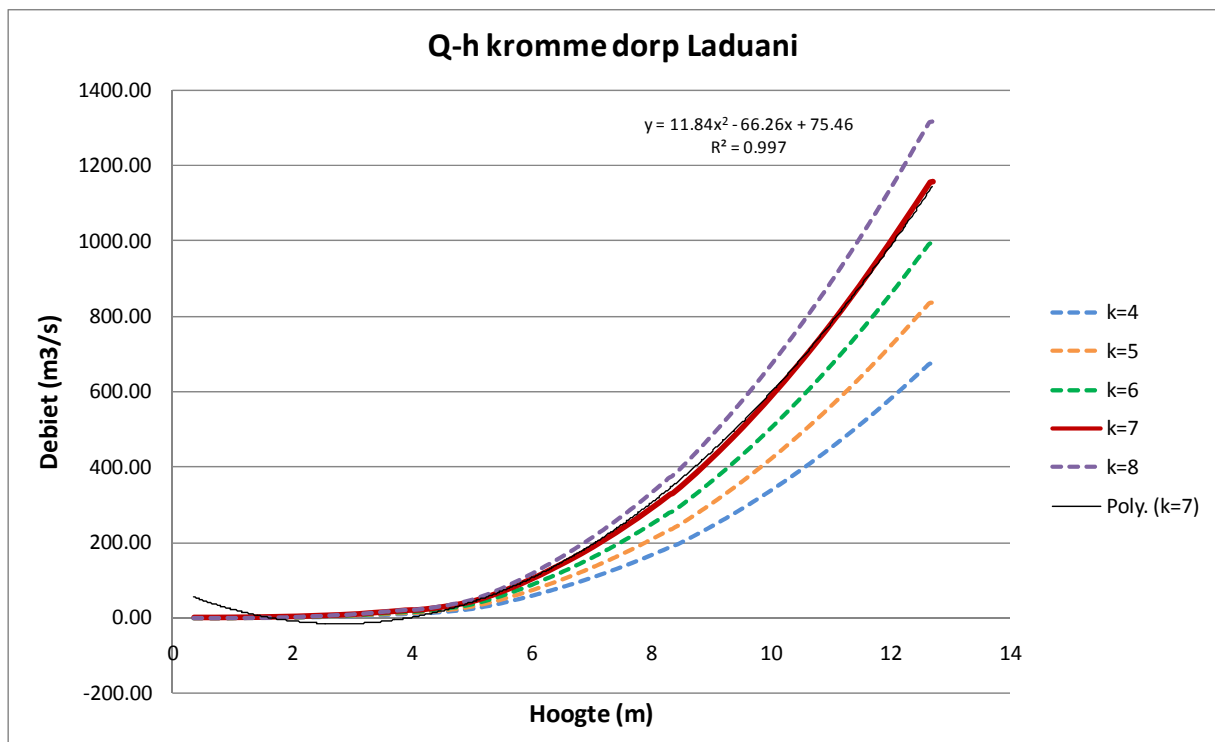
Figuur 79 Debiet - hoogte kromme Kajana



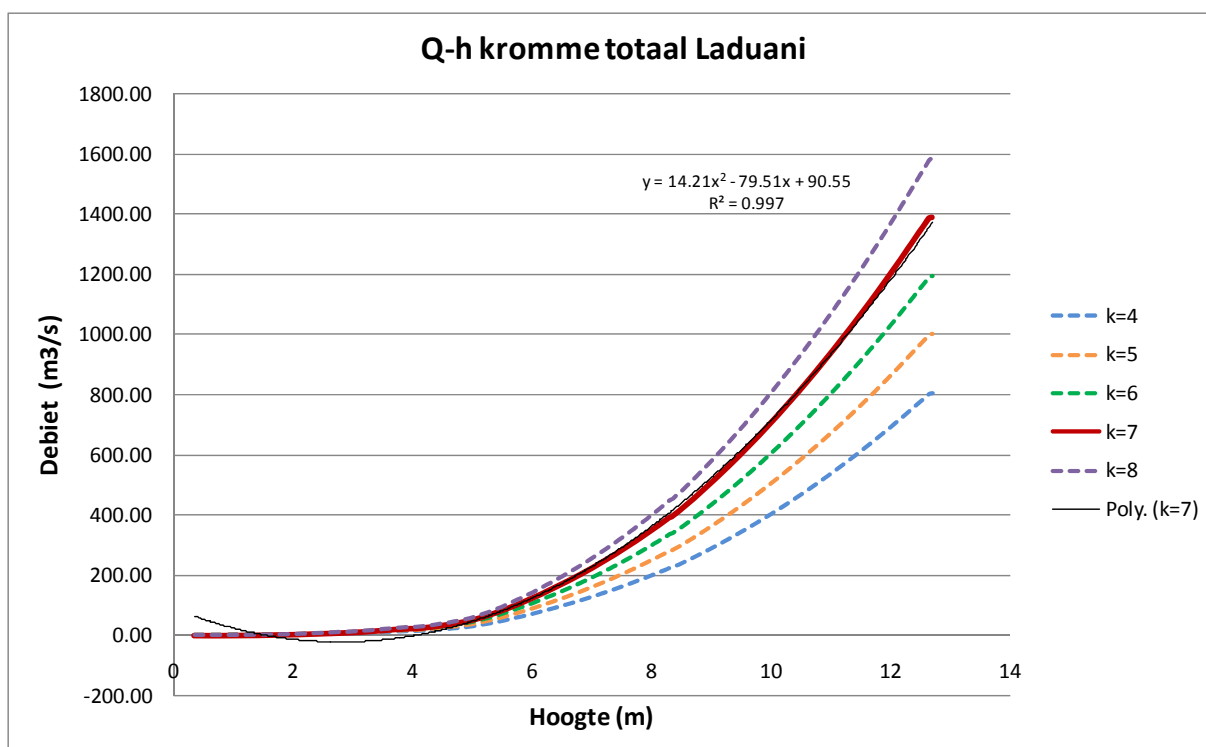
Figuur 80 Debiet - hoogte kromme Djoemoe



Figuur 81 Debiet - hoogte kromme Botopasi

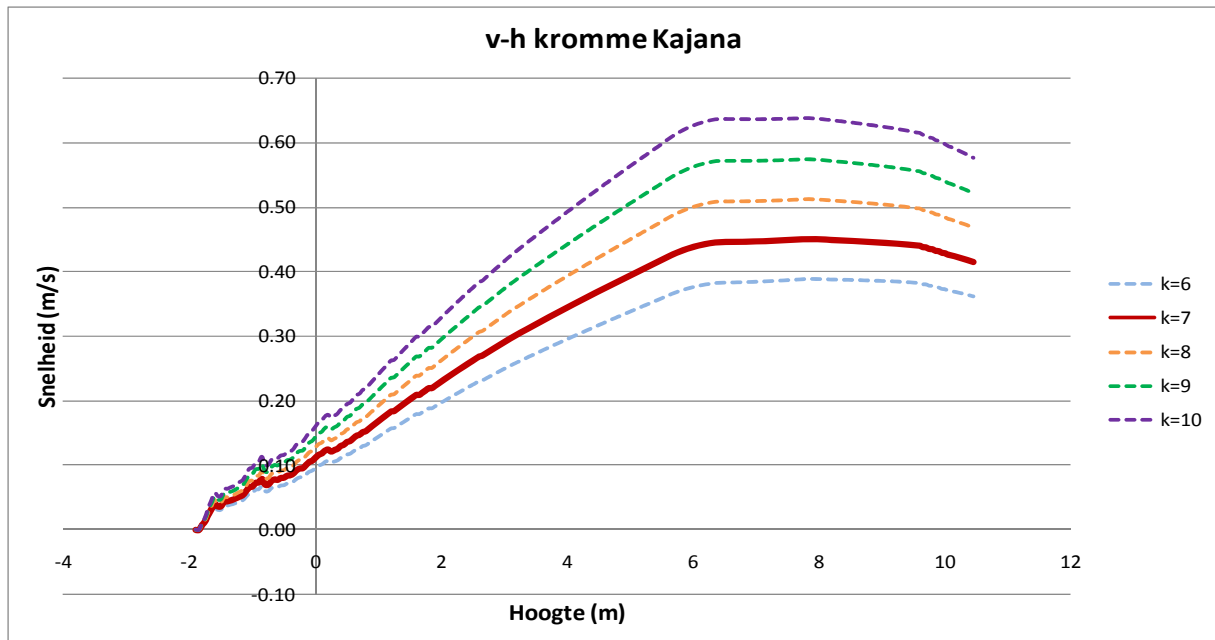


Figuur 82 Debiet - hoogte kromme Laduani bij het dorp

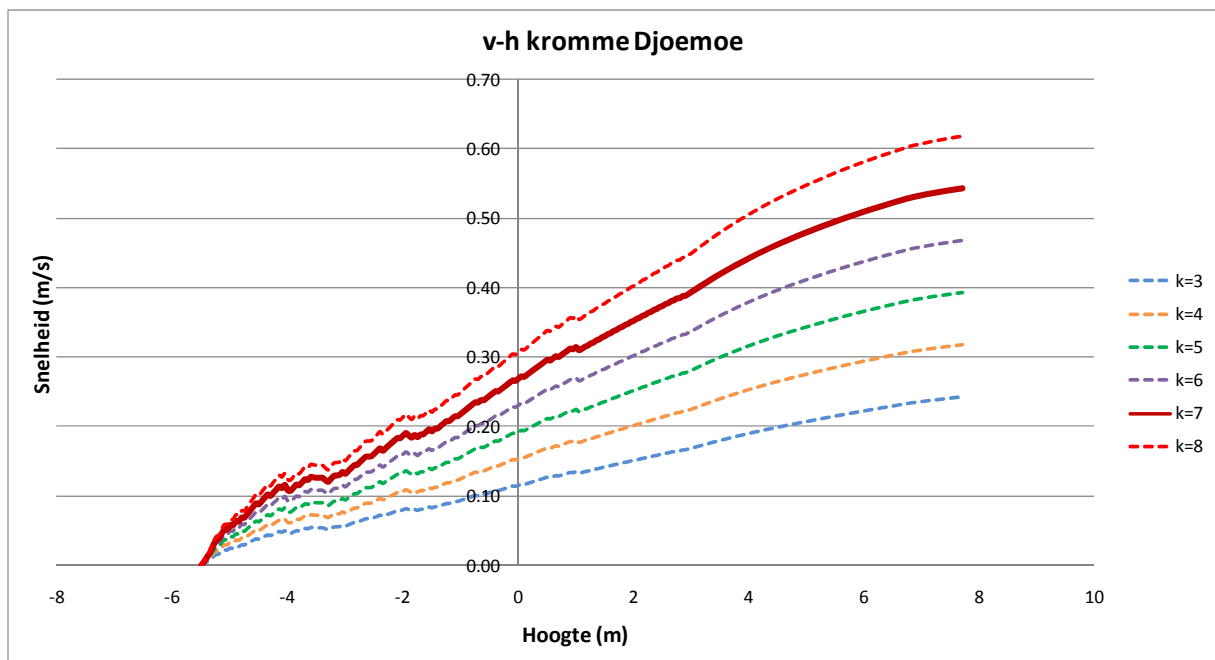


Figuur 83 Totale debiet - hoogte kromme Laduani voor de splitsing.

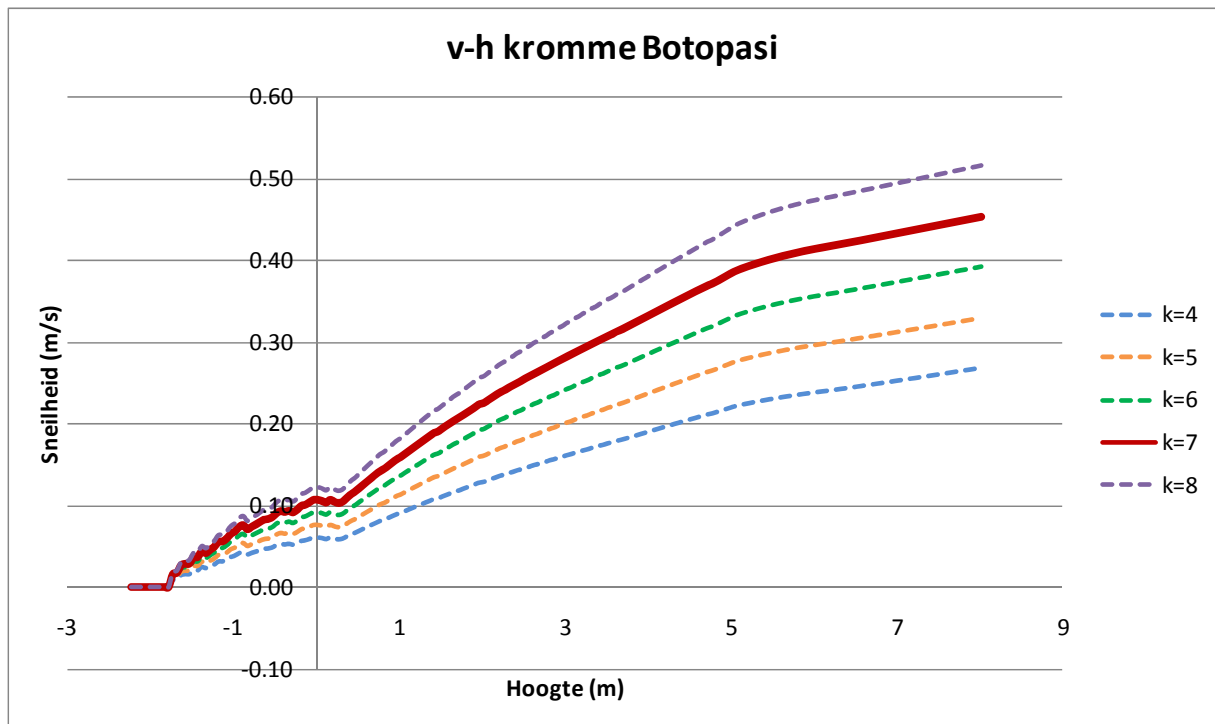
Bijlage D: Snelheid – hoogte relaties dorpen



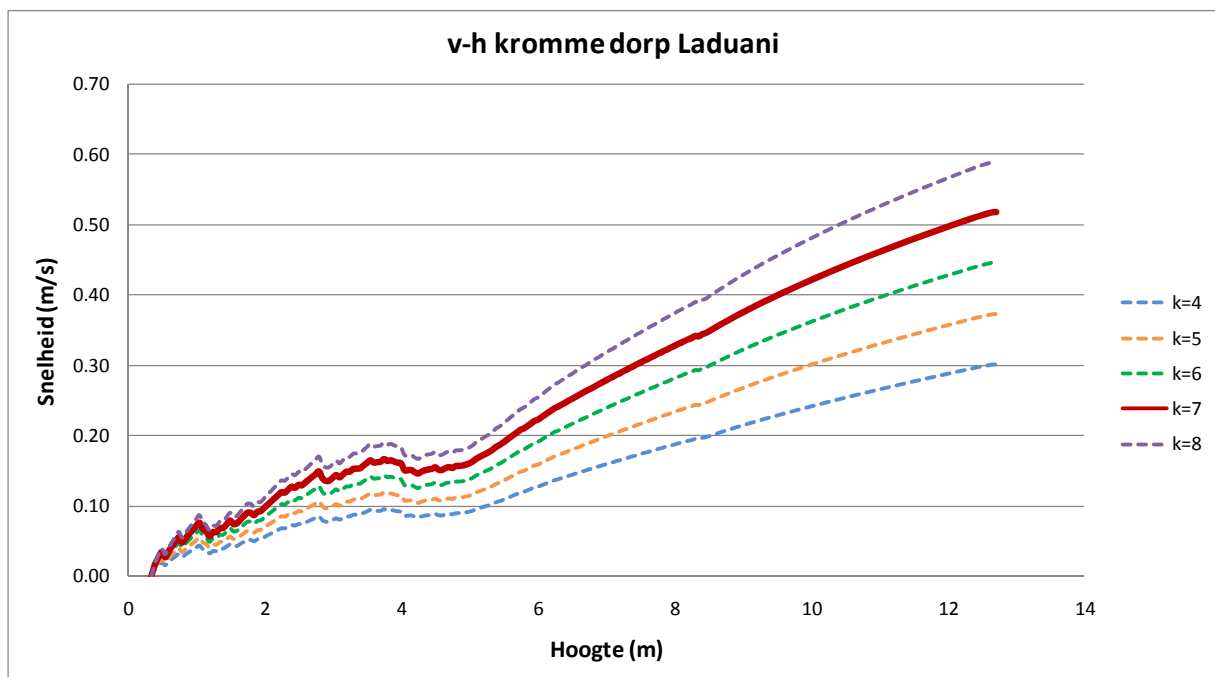
Figuur 84 Snelheid – hoogte kromme Kajana



Figuur 85 Snelheid – hoogte kromme Djoemoe



Figuur 86 Snelheid – hoogte kromme Botopasi



Figuur 87 Snelheid – hoogte kromme Laduani

Bijlage E: Muskingum methode

Theorie:

Bij de Muskingum methode (referentie) wordt de berging in een riviervak meegenomen om waterstanden te voorspellen. De formule voor deze berging is:

$$S = K(xI + (1-x)O)$$

Met:

S = berging [m^3]

K = schatting doorlooptijd van de golf [s]

x = wegingsfactor voor in- en uitstroom [-]

I = instroom riviervak [m^3/s]

O = uitstroom riviervak [m^3/s]

De parameters K en x kunnen uit bestaande data van een hoogwatergolf gekalibreerd worden, omdat deze data er niet zijn wordt de methode van Cunge (referentie) gebruikt om de parameters te schatten.

$$x = 0,5 * (1 - Q / (B * s * c * \Delta x))$$

$$K = \Delta x / c$$

Met:

Q = gemiddelde afvoer

B = gemiddelde bodembreedte

s = bodemverhang

c = voortplantingssnelheid hoogwatergolf

De totale formule voor de Muskingum routing is dan als volgt:

$$O_2 = c0 * I_2 + c1 * I_1 + c2 * O_1 + Q_{zij}$$

Met:

$$c0 = (-2x + \Delta t / K) / (2 * (1 - x) + \Delta t / K)$$

$$c1 = (2x + \Delta t / K) / (2 * (1 - x) + \Delta t / K)$$

$$c2 = (2 * (1 - x) - \Delta t / K) / (2 * (1x) + \Delta t / K)$$

$$c0 + c1 + c2 = 1$$

$$c3 = (2 * \Delta t / K) / (2 * (1 - x) + \Delta t / K)$$

Q_{zij} = laterale instroom, als percentage van de bovenstroomse instroom

Een methode om de laterale instroom te bepalen is bijvoorbeeld:

$$Q_{zij} = I_1 * ((A2 - A1) / A1)$$

Met:

A1 = Oppervlakte stroomgebied bovenstrooms dorp

A2 = Oppervlakte stroomgebied benedenstroomse dorp

Toepassing:

Een stroomschema hoe de Muskingum methode gebruikt zou kunnen worden in het Boven Suriname gebied wordt gegeven in figuur 89.

Tijdstap 1 (t=0 uur)				
	Waterstanden			Debieten
Kajana	h_{K1}	→ Q-h krommes →		Q_{K1}
Djoemoe	h_{D1}	→		Q_{D1}
Botopasi	h_{B1}	→		Q_{B1}
Laduani	h_{L1}	→		Q_{L1}
				↓
				Muskingum Routing
				↓
Tijdstap 2 (t=3 uur)				
	Waterstanden			Debieten
Kajana	h_{K2}	← Q-h krommes ←		$Q_{K2} = \text{onbekend}$
Djoemoe	h_{D2}	←		$Q_{D2} = c_0 * Q_{K2} + c_1 * Q_{K1} + c_2 * Q_{D1} + c_3 * Q_{zijKD}$
Botopasi	h_{B2}	←		$Q_{B2} = c_0 * Q_{D2} + c_1 * Q_{D1} + c_2 * Q_{B1} + c_3 * Q_{zijDB}$
Laduani	h_{L2}	←		$Q_{L2} = c_0 * Q_{B2} + c_1 * Q_{B1} + c_2 * Q_{L1} + c_3 * Q_{zijBL}$
				↓
				Muskingum Routing
				↓
				Debieten
		etcetera	←	$Q_{K3} = \text{onbekend}$
			←	$Q_{D3} = c_0 * Q_{K3} + c_1 * Q_{K2} + c_2 * Q_{D2} + c_3 * Q_{zijKD}$
			←	$Q_{B3} = c_0 * Q_{D3} + c_1 * Q_{D2} + c_2 * Q_{B2} + c_3 * Q_{zijDB}$
			←	$Q_{L3} = c_0 * Q_{B3} + c_1 * Q_{B2} + c_2 * Q_{L2} + c_3 * Q_{zijBL}$
				↓
				etcetera

Figuur 89 Stroomschema werking Muskingum methode

Met het meten van de waterstanden op een bepaald tijdstip kunnen dus de waterstanden enkele uren vooruit voorspeld worden. Ware het niet dat Q_{K2} , de waterstand in Kajana op tijdstip 2 onbekend is, dit kan op twee manieren worden opgelost:

- 1) Aanname $Q_{K2} = Q_{K1}$

2) De tijdstap Δt zo kalibreren dat $c0$ gelijk wordt aan 0, en dus $QD2$ alleen afhankelijk van de in- en uitstroom op tijdstap 1. Omdat in dit geval x bij beste benadering met Cunge erg hoog is ca. 0,47 wordt bij kalibratie de coëfficiënt $c2$ ook bijna gelijk aan 0 en de tijdstap bijna gelijk aan de golfvoortplantingssnelheid. Daardoor verliest de Muskingum methode zijn voordelen ten opzichte van flood routing zonder berging.

Wellicht als x gekalibreerd kan worden met gemeten data zou de nauwkeurigheid van voorspellen met de Muskingum methode omhoog kunnen. De meetfrequentie tijdens hoogwater zou ook omhoog moeten naar bijvoorbeeld 8 maal per dag om een goede analyse achteraf te kunnen maken. Uiteindelijk zou dit kunnen leiden tot een geavanceerd waarschuwingsmodel.

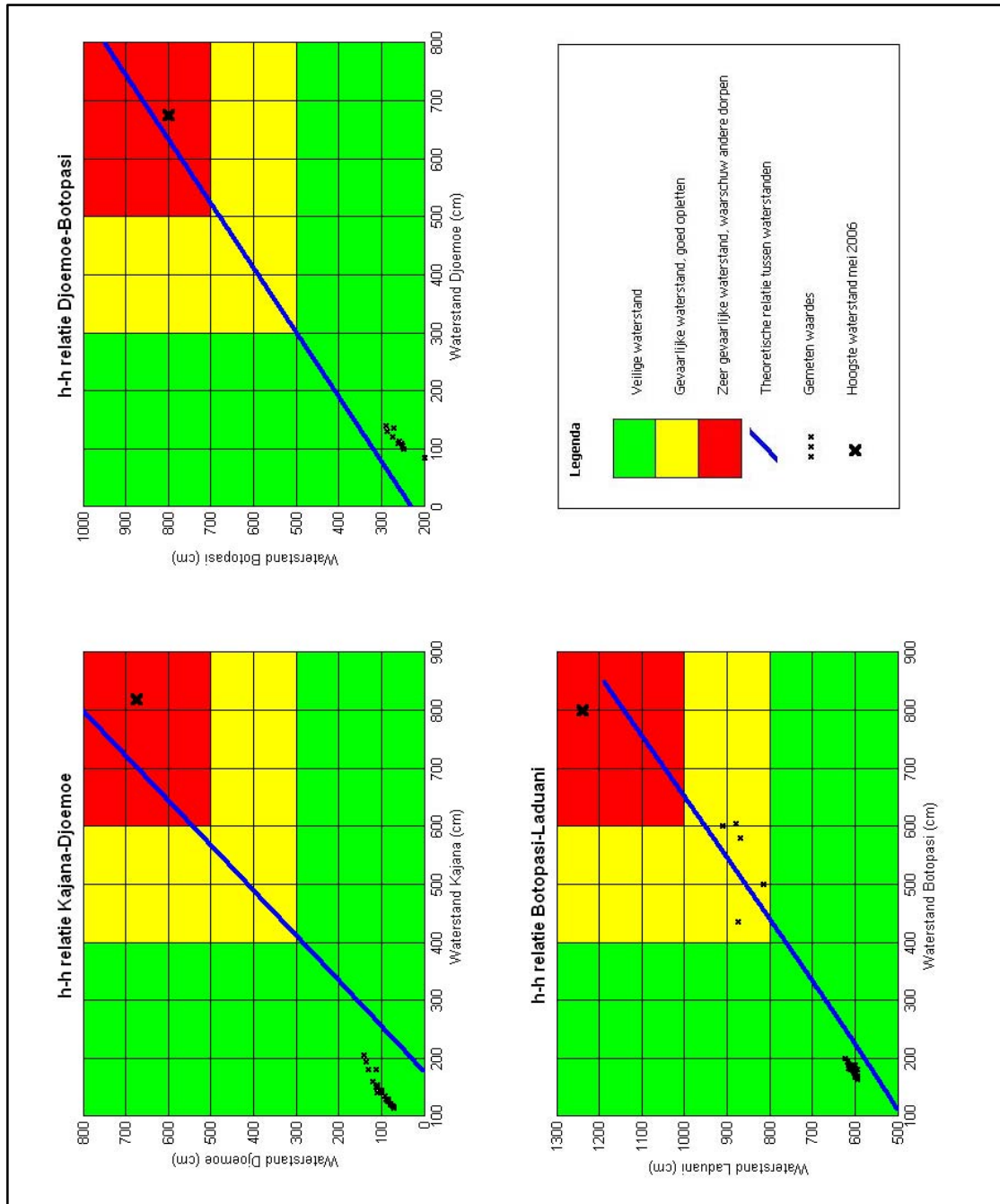
Bijlage F: Input data Neerslag – afvoer model

datum	Neerslag Djoemoe	Neerslag Pokigron	Neerslag Djoemoe	Neerslag Pokigron
okt-74	94	97		
nov-74	74	90		
dec-74	162	153		
jan-75	141	193	jan-80	111
feb-75	120	69	feb-80	36
mrt-75	175	176	mrt-80	64
apr-75	159	132	apr-80	315
mei-75	476	403	mei-80	288
jun-75	362	280	jun-80	260
jul-75	358	525	jul-80	199
aug-75	234	378	aug-80	132
sep-75	130	562	sep-80	190
okt-75	59	43	okt-80	53
nov-75	129	122	nov-80	23
dec-75	181	171	dec-80	23
jan-76	356	254	jan-81	247
feb-76	164	165	feb-81	309
mrt-76	416	324	mrt-81	196
apr-76	553	309	apr-81	567
mei-76	652	408	mei-81	473
jun-76	262	286	jun-81	350
jul-76	160	279	jul-81	468
aug-76	38	133	aug-81	97
sep-76	14	84	sep-81	68
okt-76	2	38	okt-81	88
nov-76	58	34	nov-81	81
dec-76	207	297	dec-81	107
jan-77	71	136	jan-82	173
feb-77	175	128	feb-82	212
mrt-77	241	229	mrt-82	302
apr-77	237	361	apr-82	446
mei-77	244	350	mei-82	429
jun-77	181	216	jun-82	198
jul-77	149	52	jul-82	316
aug-77	162	221	aug-82	68
sep-77	54	131	sep-82	62
okt-77	43	162	okt-82	10
nov-77	108	162	nov-82	114
dec-77	243	171	dec-82	95
jan-78	118	136	jan-83	27
feb-78	154	140	feb-83	88
mrt-78	244	152	mrt-83	232
apr-78	262	255	apr-83	162
mei-78	261	247	mei-83	174
jun-78	174	295	jun-83	182
jul-78	312	304	jul-83	78
aug-78	150	289	aug-83	96
sep-78	57	40	sep-83	42
okt-78	57	82	okt-83	0
nov-78	20	74	nov-83	0
dec-78	217	254	dec-83	21
jan-79	144	147	jan-84	164
feb-79	152	26	feb-84	49
mrt-79	231	243	mrt-84	44
apr-79	432	336	apr-84	66
mei-79	295	345	mei-84	447
jun-79	403	281	jun-84	271
jul-79	189	215	jul-84	134
aug-79	130	172	aug-84	31
sep-79	53	58	sep-84	27
okt-79	51	122	okt-84	87
nov-79	44	109	nov-84	54
dec-79	296	314	dec-84	92

Average Djoemoe/ Pokigron hele dataset 1955 - 2007 =1,056

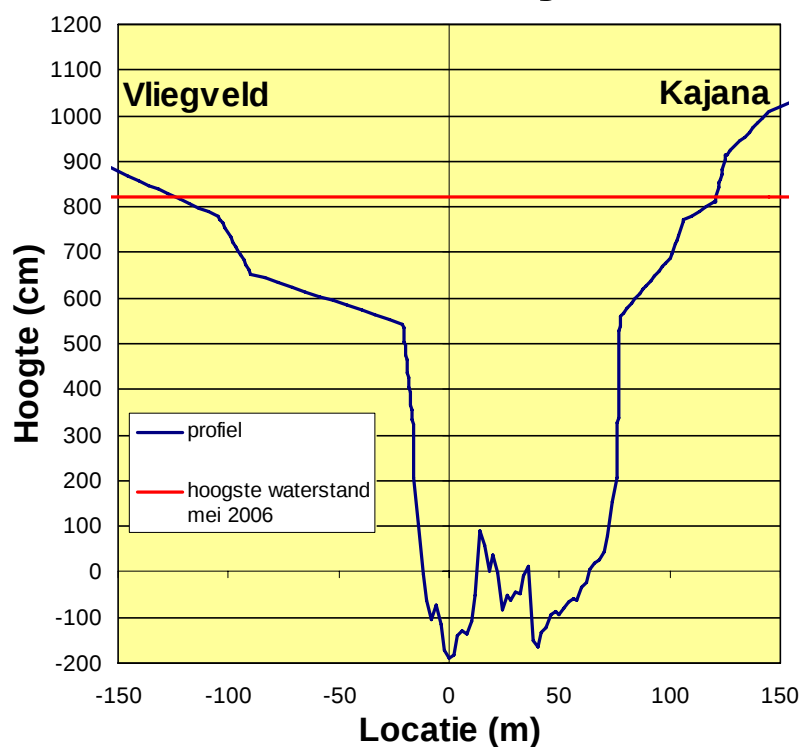
Gemarkeerde cursieve waarden zijn berekent uit de verhouding tussen de neerslag in Pokigron en Djoemoe.

Bijlage G: Formulieren binnenland



Bovenstaande grafieken geven weer bij welke waterstanden er mogelijk gevaar optreedt. Op het moment dat de waterstand in de rode zone komt zouden de bovenstroomse dorpen de benedenstroomse dorpen moeten waarschuwen. Dit is een taak voor de stationschefs van de in de dorpen aanwezige vliegvelden. Kajana moet Djoemoe waarschuwen, Djoemoe moet Botopasi waarschuwen en Botopasi moet Laduani waarschuwen.

Peillatten Kajana



Dit formulier geeft een overzicht van de peillatten ter hoogte van het vliegveld van Kajana, zoals deze gerenoveerd zijn door TU Delft projectgroep Suriname in september 2007.

De grafiek geeft een overzicht van het rivierprofiel bij het vliegveld van Kajana.

De bijbehorende peillatten staan op de linkeroever. Deze zijn hiernaast weergegeven met een nieuwe schaalverdeling, de nieuwe verdeling heeft een positieve verschuiving van 300 cm ten opzichte van de oude. De hoogste waterstand in mei 2006 is volgens deze nieuwe schaalverdeling 820 cm.

Het referentiepunt is nu: 300 cm = top van grote rots in het midden van de rivier

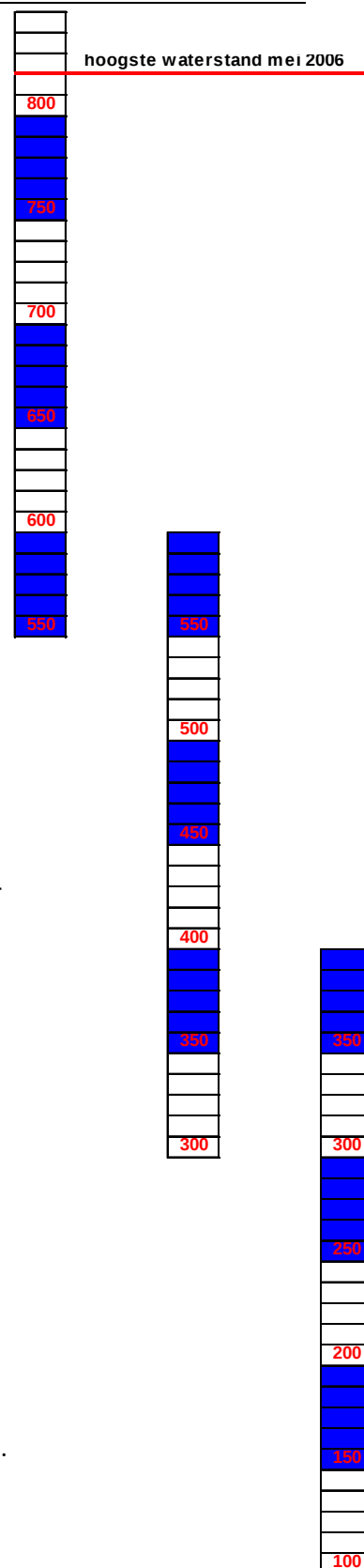
De exacte locatie van de peillatten is:

Noorderbreedte: 3,90123°

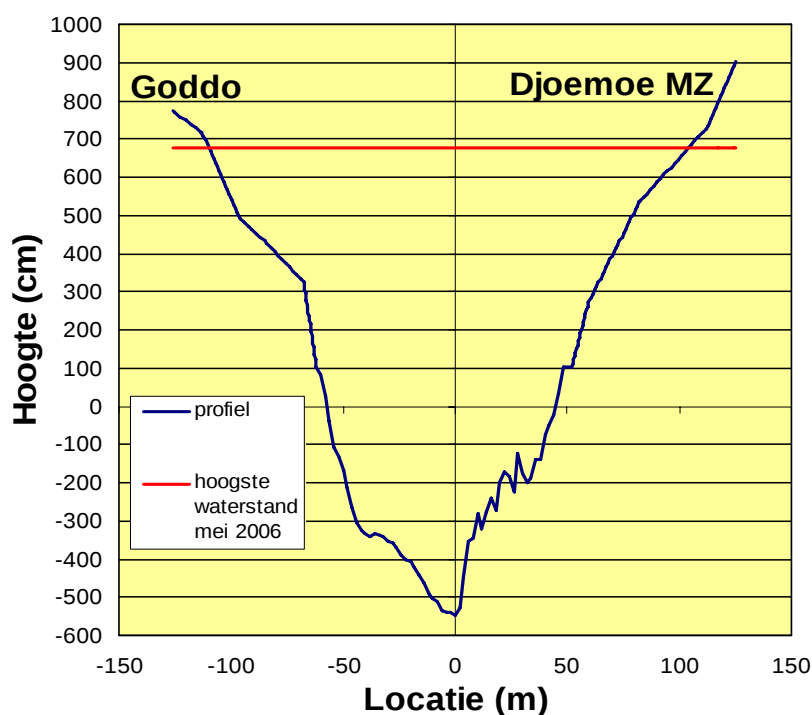
Westerlengte: 55,57428°

Het is de afspraak dat de waterstanden met behulp van deze peillatten dagelijks in de ochtend worden afgelezen door de stationschef van vliegveld Kajana. Deze zal de waterstanden doorgeven aan de radiokamer van vliegveld Zorg en Hoop in Paramaribo.

Het verzamelen van deze data heeft meerdere doelen. Zoals onderzoek naar een waarschuwingsmodel voor overstromingen en voor onderzoek naar de haalbaarheid van microwaterkracht.



Peillatten Djoemoe MZ



Dit formulier geeft een overzicht van de peillatten ter hoogte van Djoemoe Medische Zending, zoals deze gerenoveerd zijn door TU Delft projectgroep Suriname in september 2007.

De grafiek geeft een overzicht van het rivierprofiel bij Djoemoe Medische Zending.

De bijbehorende peillatten staan op de rechteroever. Deze zijn hiernaast weergegeven met een nieuwe schaalverdeling, de nieuwe verdeling heeft een positieve verschuiving van 600 cm ten opzichte van de oude. De hoogste waterstand in mei 2006 is volgens deze nieuwe schaalverdeling 675 cm.

Het referentiepunt is nu: 600 cm = 0 cm NSP

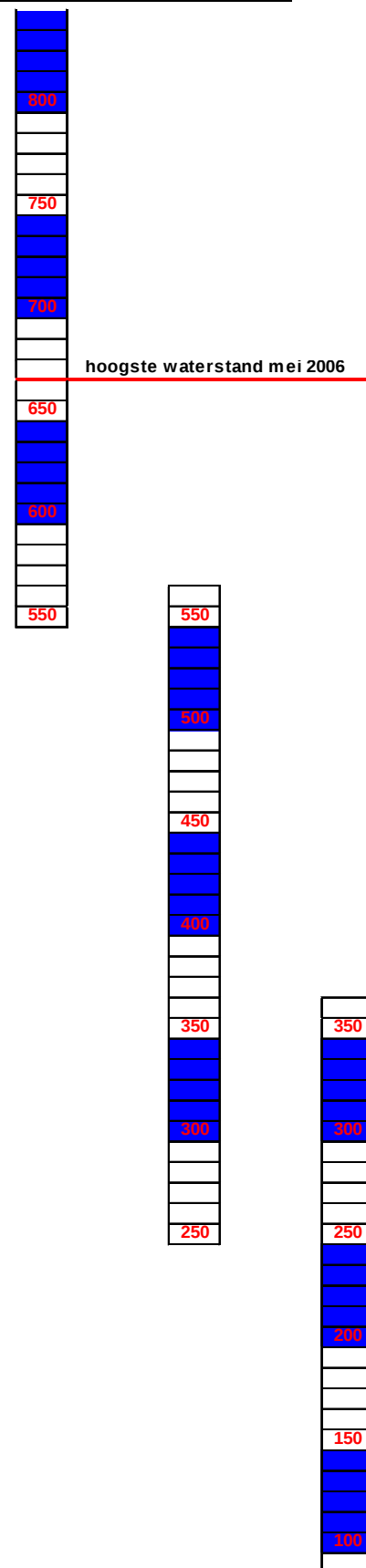
De exacte locatie van de peillatten is:

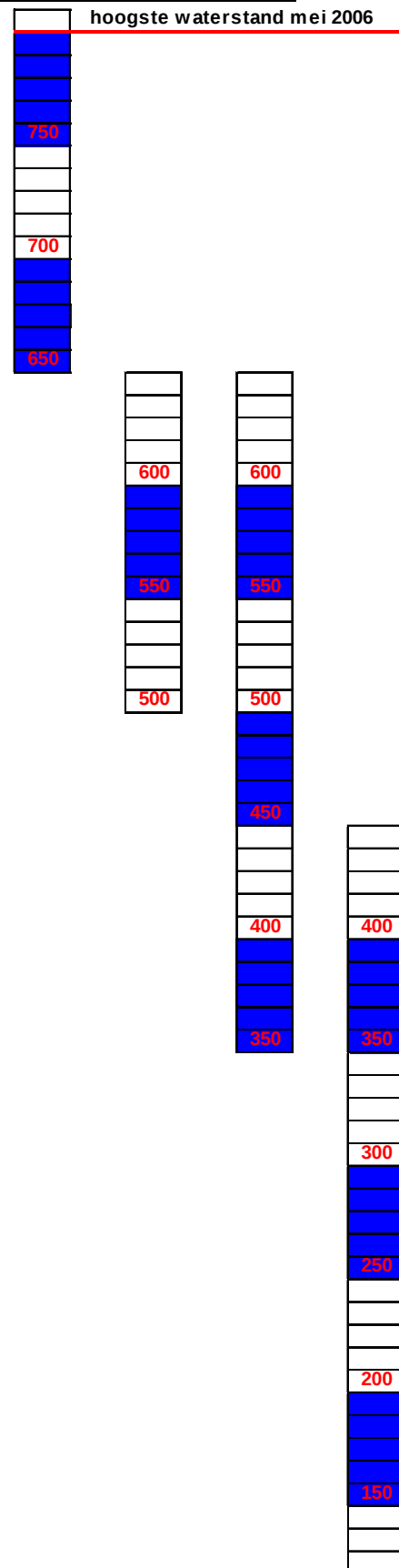
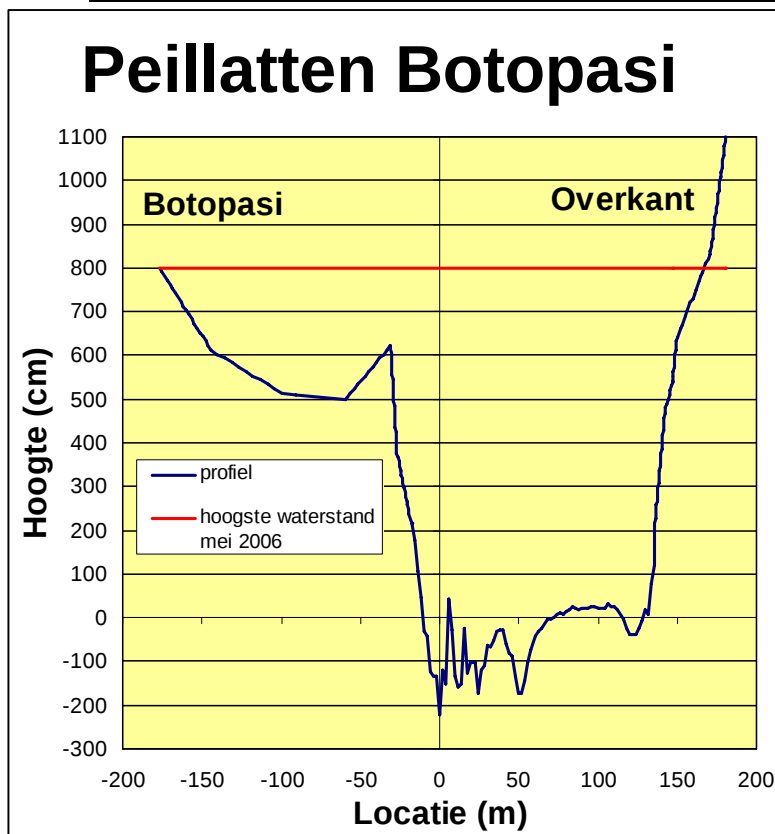
Noorderbreedte: 4,01442°

Westerlengte: 55,47326°

Het is de afspraak dat de waterstanden met behulp van deze peillatten dagelijks in de ochtend worden afgelezen door iemand van de medische zending, vervolgens wordt dit op maandag, woensdag en vrijdag doorgegeven aan de stationschef van Djoemoe. Deze zal de waterstanden doorgeven aan de radiokamer van vliegveld Zorg en Hoop in Paramaribo.

Het verzamelen van deze data heeft meerdere doelen. Zoals onderzoek naar een waarschuwingsmodel voor overstromingen en voor onderzoek naar de haalbaarheid van microwaterkracht.





Dit formulier geeft een overzicht van de peillatten ter hoogte van het vliegveld van Botopasi, zoals deze gerenoveerd zijn door TU Delft projectgroep Suriname in september 2007.

De grafiek geeft een overzicht van het rivierprofiel bij Botopasi.

De bijbehorende peillatten staan op de linkeroever. Deze zijn hiernaast weergegeven met een nieuwe schaalverdeling, de nieuwe verdeling heeft een positieve verschuiving van 350 cm ten opzichte van de oude. De hoogste waterstand in mei 2006 is volgens deze nieuwe schaalverdeling 800 cm.

Het referentiepunt is nu: 350 cm = top van de rots bij de wasplaats

De exacte locatie van de peillatten is:

Noorderbreedte: 4,21945°

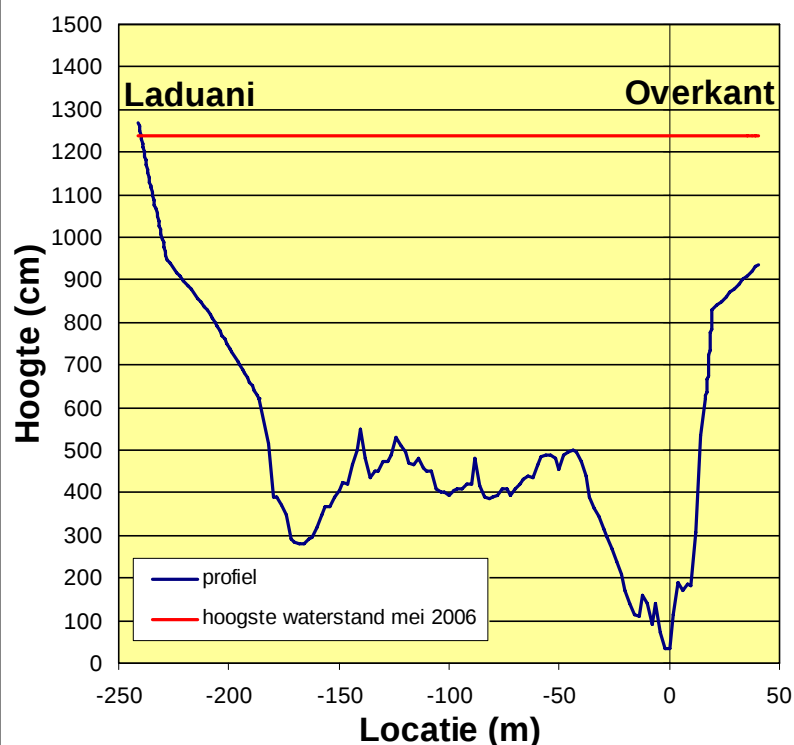
Westerlengte: 55,44205°

Het is de afspraak dat de waterstanden met behulp van deze peillatten dagelijks in de ochtend worden afgelezen door de stationschef van vliegveld Botopasi.

Deze zal de waterstanden doorgeven aan de radiokamer van vliegveld Zorg en Hoop in Paramaribo.

Het verzamelen van deze data heeft meerdere doelen. Zoals onderzoek naar een waarschuwingsmodel voor overstromingen en voor onderzoek naar de haalbaarheid van microwaterkracht.

Peillatten Laduani



Dit formulier geeft een overzicht van de peillatten ter hoogte van Laduani, zoals deze gerenoveerd zijn door TU Delft projectgroep Suriname in september 2007.

De grafiek geeft een overzicht van het rivierprofiel bij Laduani.

De bijbehorende peillatten staan op de linkeroever. Deze zijn hiernaast weergegeven. De hoogste waterstand in mei 2006 is volgens deze schaalverdeling 1240 cm.

Het referentiepunt is: 35 cm = diepste punt in de rivier

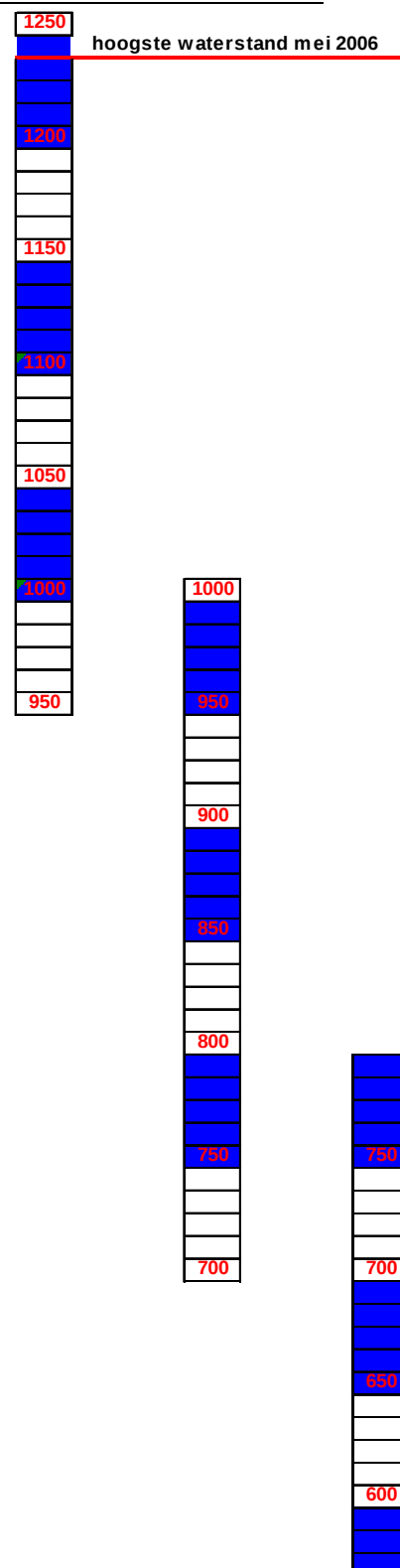
De exacte locatie van de peillatten is:

Noorderbreedte: 4,37759°

Westerlengte: 55,40046°

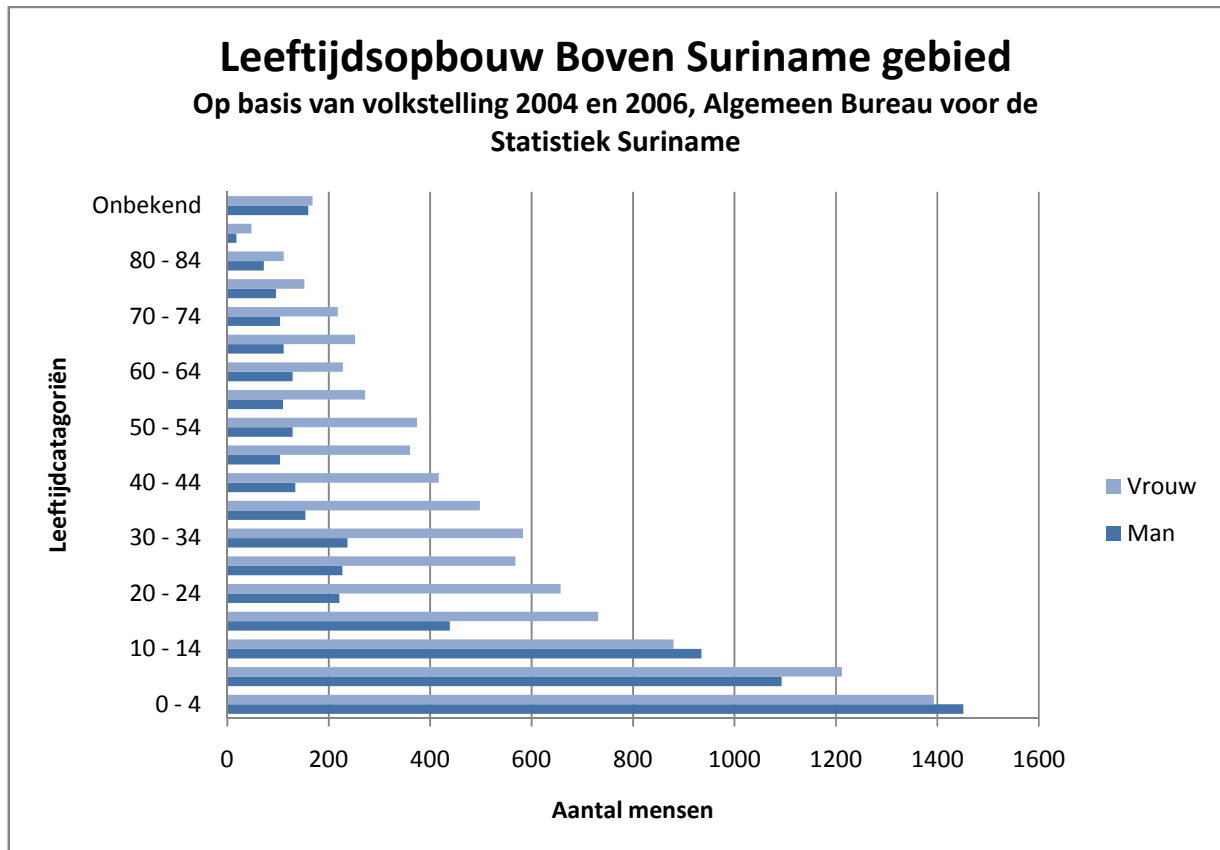
Het is de afspraak dat de waterstanden met behulp van deze peillatten dagelijks in de ochtend worden afgelezen door de stationschef van vliegveld Laduani. Deze zal de waterstanden doorgeven aan de radiokamer van vliegveld Zorg en Hoop in Paramaribo.

Het verzamelen van deze data heeft meerdere doelen. Zoals onderzoek naar een waarschuwingsmodel voor overstromingen en voor onderzoek naar de haalbaarheid van microwaterkracht.



Bijlage H: Demografie in Boven Suriname Gebied

In 2004 en 2006 heeft het Algemeen Bureau voor de Statistiek Suriname volkstellingen uitgevoerd in het Boven Suriname Gebied. Het resultaat is te vinden in Figuur 88.



Figuur 88 Leeftijdsopbouw Boven Suriname gebied, bron Algemeen Bureau voor de Statistiek Suriname

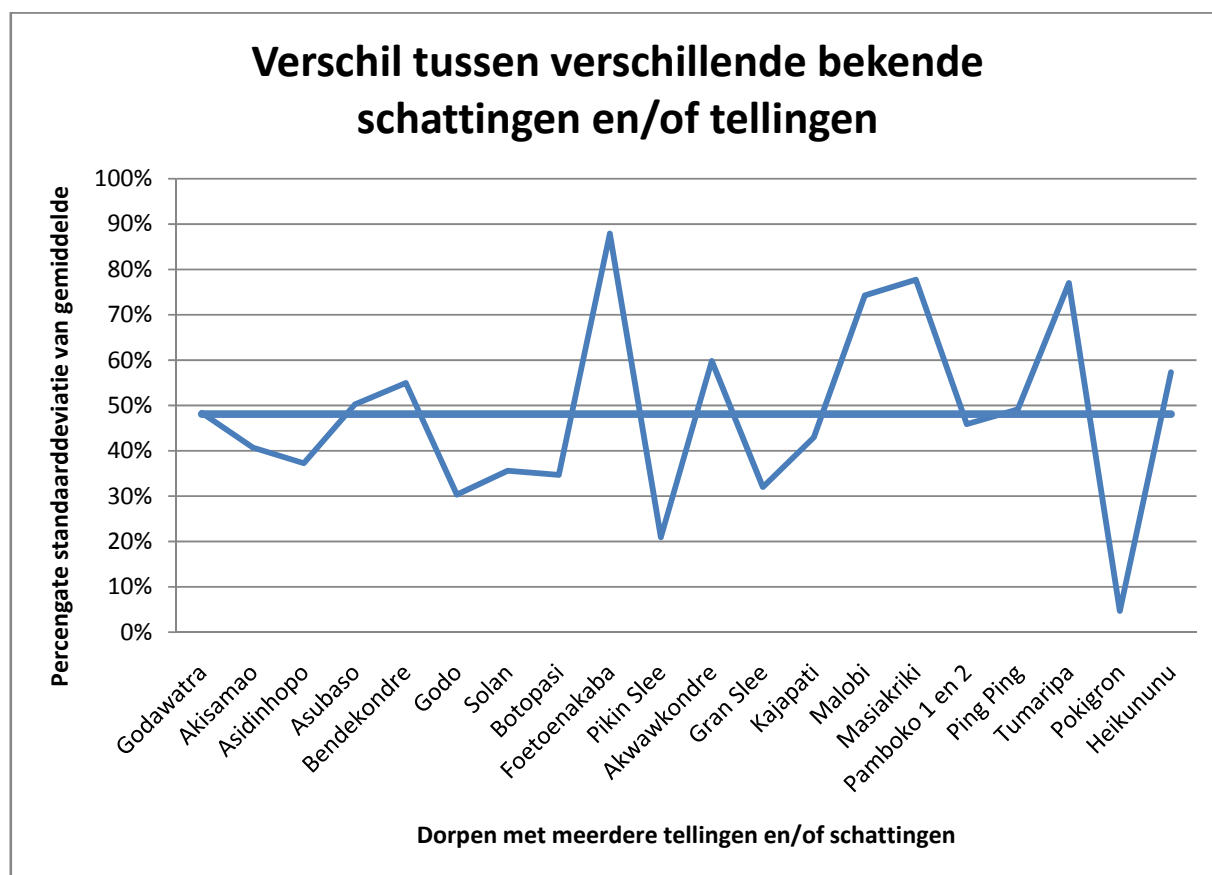
Dit is geteld per dorp, maar het bureau kan de nauwkeurigheid op dorpschaal niet garanderen en wenst daarom deze gegevens niet vrij te geven. Van enkele dorpen hebben de bestuursopzichters van deze dorpen deze gegevens echter wel.

Van veel dorpen registreert de medische zending, die de gezondheidszorg in het binnenland verzorgt, inwoners en uit welk dorp ze komen. Deels is dit nieuwe informatie, deels zijn dit dezelfde dorpen waar al gegevens over voorhanden worden. Helaas komt dit niet altijd goed overeen. Waar de gegevens niet overeen komen, is een gemiddelde genomen.

Nu blijven nog steeds dorpen zonder gegevens over. Voor deze dorpen zijn drie schattingsmethodes gebruikt. Ten eerste is met behulp van de oppervlaktes die bekend zijn na het opmeten met een

draagbaar GPS-apparaat en de bevolkingsaantallen van bekende dorpen een gemiddelde dichtheid berekend. Dus verhoudingsgewijs met het oppervlak wordt een inwoneraantal geschat. Ten tweede heeft na de overstromingen van 2006 de Pan American Health Organisation (PAHO) DURO-tanks uitgedeeld op basis van een tank per zoveel inwoners. Op basis van het aantal DURO-tanks van de PAHO is vervolgens een schatting van het aantal inwoners gemaakt. Ten derde is er een schatting op basis van schattingen van de lokale bestuursopzichter. In 1998 kwam hetzelfde probleem naar voren bij een voorstudie naar microwaterkracht in de binnenlanden van Suriname en toen is dit onder andere opgelost door de bestuursopzichters van de dorpen te vragen een schatting te doen naar het aantal inwoners in die dorpen. Als er geen tellingen bekend zijn, is het gemiddelde van de schattingen gebruikt. Het resultaat is te vinden in Figuur 90 Overzicht methodes bepaling aantal inwoners Boven Suriname gebied.

Het blijkt dat het resultaat niet erg betrouwbaar is, omdat tellingen onderling, tellingen en schattingen en schattingen onderling grote verschillen vertonen. In Figuur 89 is een overzicht te vinden van deze verschillen. De grafiek laat zien wat het percentage van de standaarddeviatie van het gemiddelde is. Dichter bij nul is dus gunstiger. Het gemiddelde blijkt 48% te zijn. Dus gemiddeld schelen de verschillende tellingen en/of schattingen 48%, wat erg fors is.



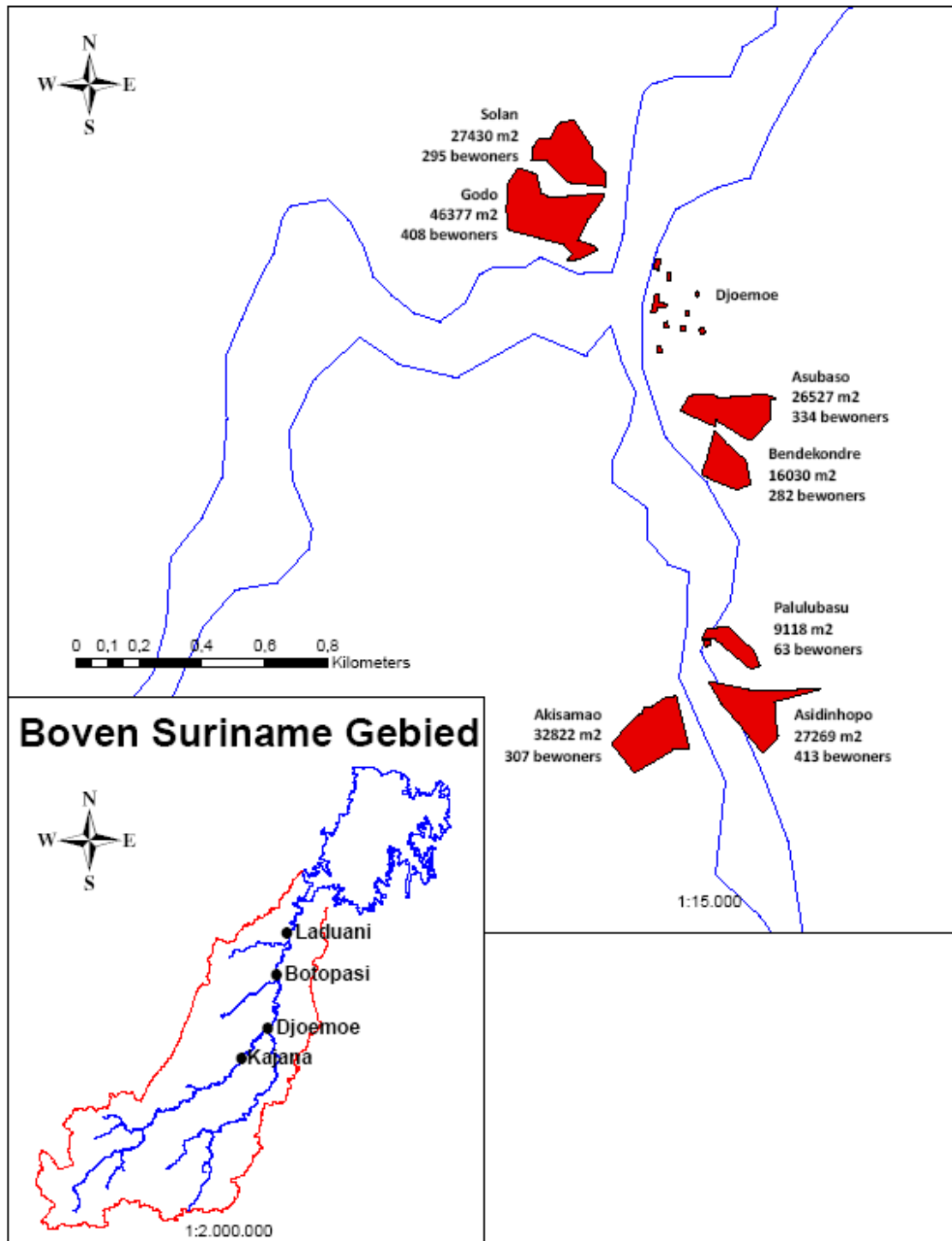
Figuur 89 Verschil bekende schattingen en/of tellingen

	Getelde inwoners Algemeen Bureau voor de Statistiek	Getelde inwoners Medische zending	Inwoners op basis van PAHO tanks	Inwoners op basis van oppervlak	Inwoners op basis schatting bestuursopzi- chters	Gekozen waarde	Opmerkingen
Kajana cluster							
Begron	47					47	Enige bekende telling
Bendiwatra	41					41	Enige bekende telling
Deboo	16					16	Enige bekende telling
Godawatra	100	228			300	164	Gemiddelde tellingen
Godowatra II	30					30	Enige bekende telling
Kajana	301					301	Enige bekende telling
Kruntunting	15					15	Enige bekende telling
Ligorio	99					99	Enige bekende telling
Stonhoekoe	203					203	Enige bekende telling
Djoemoe cluster							
Akisamao		307		227	500	307	Enige bekende telling
Asidinhopo		413		189	300	413	Enige bekende telling
Asubaso		334		184	125	334	Enige bekende telling samen met Asubaso
Bendekondre		282		111	400	282	Enige bekende telling samen met Bendekondre
Djoemoe					30	30	Enige schatting
Godo			354	321	550	408	Gemiddelde schattingen
Johankondre				2		2	Enige schatting
Palulubasu				63		63	Enige schatting
Solan			295	190	400	295	Gemiddelde schattingen
Botopasi cluster							
Botopasi				1091	1800	1.446	Gemiddelde schattingen
Debikheh				116		116	Enige schatting
Foetoenakaba	200	118		470	50	200	Enige bekende telling
Moizoli				7		7	Enige schatting
Pikin Slee			1475	2.260	2.000	1.912	Gemiddelde schattingen
Laduani cluster							
Laduani	15					15	Enige bekende telling
Nieuw Aurora	1785					1.785	Enige bekende telling
Tjalikondre	366					366	Enige bekende telling
Niet bezochte dorpen							
Abenaston					1000	1.000	Enige schatting
Akwawkondre	308				125	308	Enige bekende telling
Amakakondre					350	350	Enige schatting
Bendikwai					70	70	Enige schatting
Bofokule					300	300	Enige schatting
Dahomey					250	250	Enige schatting
Dang					1400	1.400	Enige schatting
Dango go 1 en 2					600	600	Enige schatting
Djendjen					200	200	Enige schatting
Duntunakaba					50	50	Enige schatting
Ganiakondre	301					301	Enige bekende telling
Gran Slee	555				350	555	Enige bekende telling
Gran tatai					50	50	Enige schatting
Kajapati	1.124				600	1.124	Enige bekende telling
Kambulua					1500	1.500	Enige schatting
Kampu					200	200	Enige schatting
Konoï						0	Enige schatting
Lafanti					1200	1.200	Enige schatting
Lesipasi					100	100	Enige schatting
Malobi	436				1400	436	Enige bekende telling
Masiakriki	494				1700	494	Enige bekende telling
Pamboko 1 en 2	294				150	294	Enige bekende telling
Ping Ping	413				200	413	Enige bekende telling
Salubanga						0	Enige schatting
Semoisie					650	650	Enige schatting
Sukanale						0	Enige schatting
Tumaripa	295				1000	295	Enige bekende telling
Pokigron	374				350	374	Enige bekende telling
Jaw Jaw					750	750	Enige schatting
Heikununu	508				1200	508	Enige bekende telling
					totaal:	22.669	

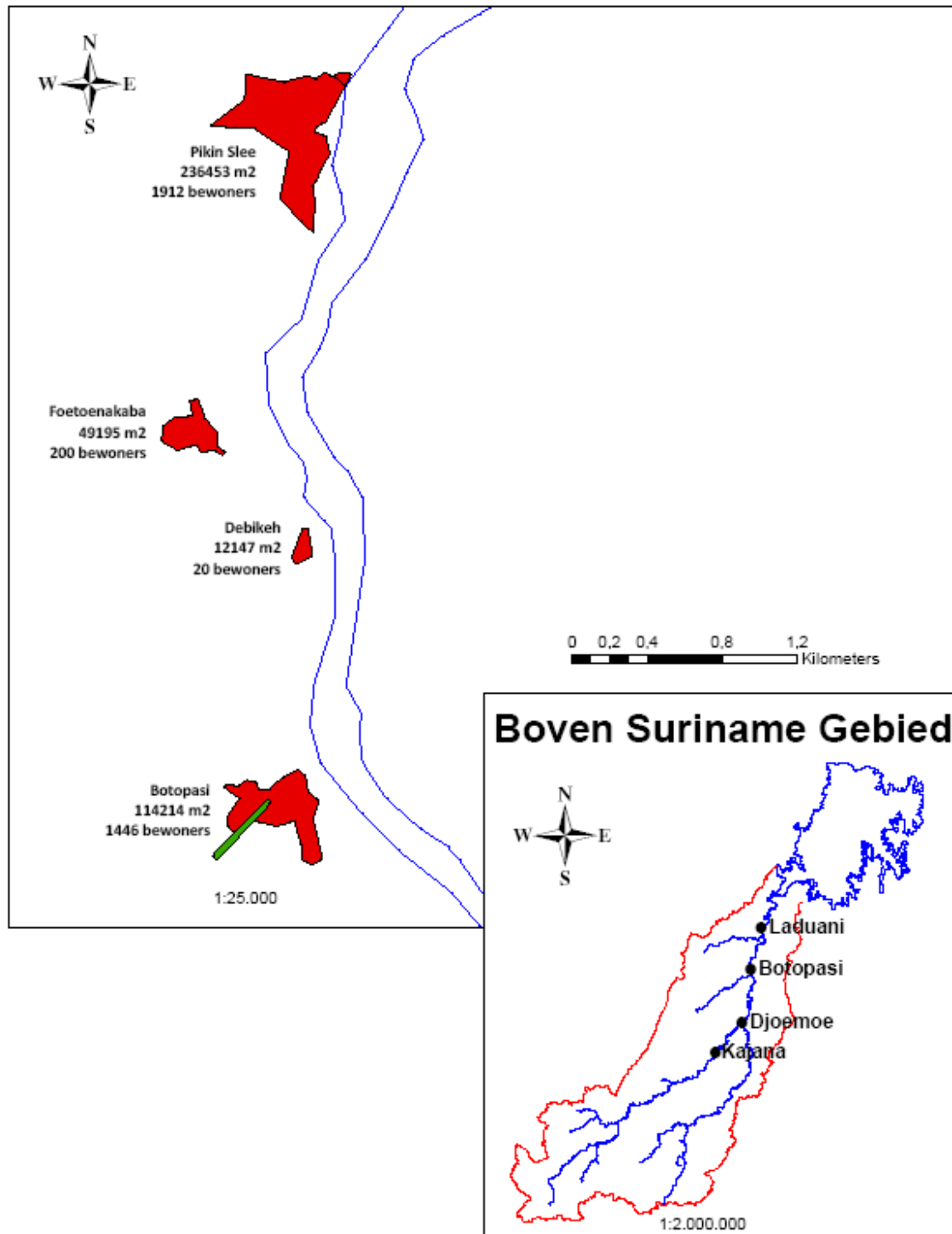
Figuur 90 Overzicht methodes bepaling aantal inwoners Boven Suriname gebied

Bijlage I: Dorpenclusters Boven Suriname gebied

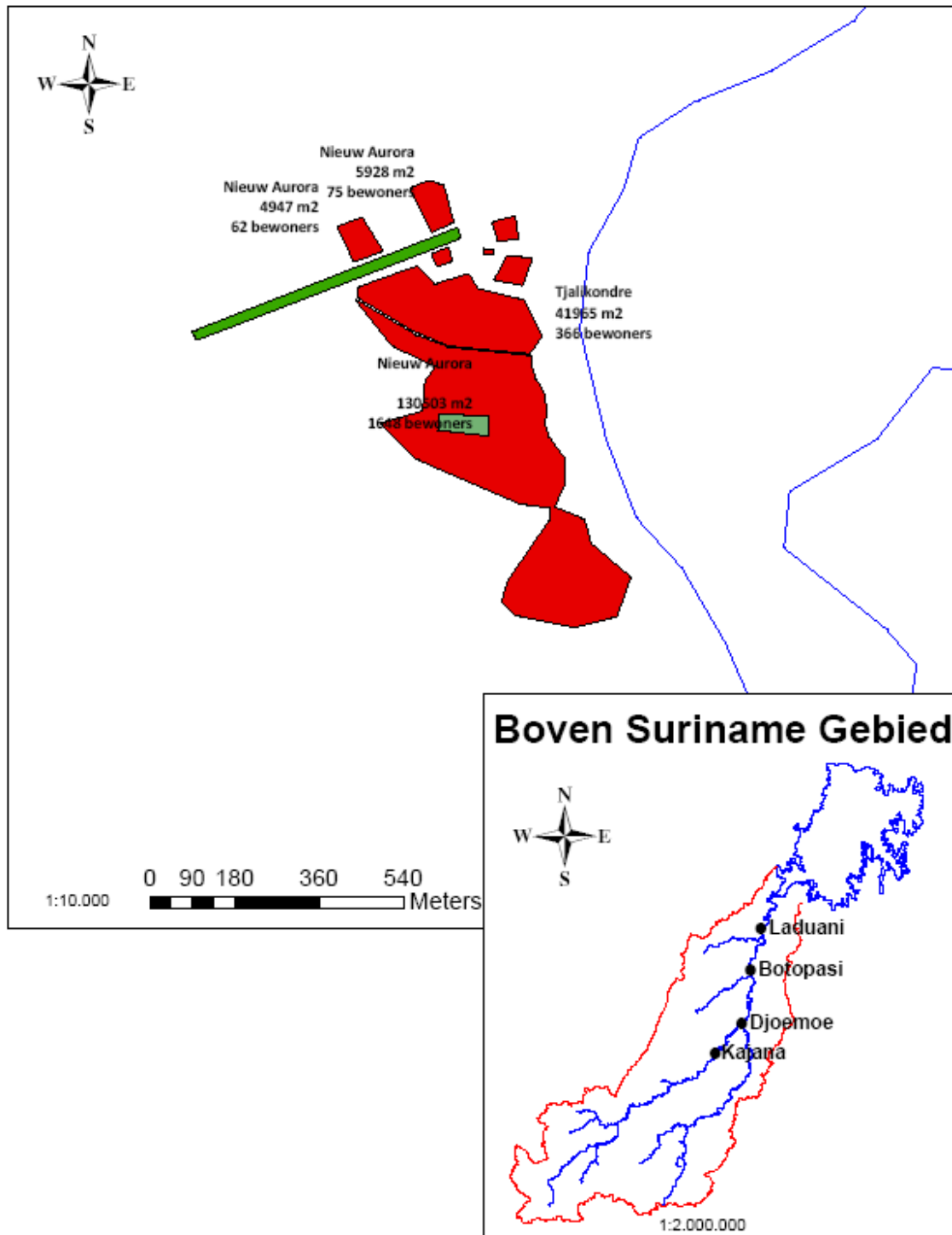
Djoemoe Cluster



Botopasi Cluster



Laduani Cluster



Bijlage J: Drinkwatersituatie Boven Suriname gebied in cijfers

Dorp	Grondoppervlak [hectare]	Aantal Durotanken	totaal volume in durotank (m3)	aantal tappunten	Gekozen waarde aantal inwoners	dichtheid (aantal durotanken/ hectare)	dichtheid (aantal m3/hectare) <i>mogelijk beschikbaar</i>	dichtheid (aantal bewoners/durota nk)	dichtheid (aantal bewoners/m3)
Kajana cluster									
Begron	1.422	1	1.500		47	0.703	1.055	47	31
Bendiwatra	0.974	4	5.920		41	4.106	6.077	10	7
Deboo	0.492	3	4.440		16	6.094	9.019	5	4
Godawatra					130	4.919	7.281	16	11
Godowatra II	1.626	8	11.840						
Kajana	6.231	23	34.776		301	3.691	5.581	13	9
Krunhetum	0.298				15				
Ligorio	3.414	19	28.000		99	5.566	8.203	5	4
Stonhoekoe	4.648	19	28.000		203	4.088	6.024	11	7
totaal									
gem.						4.167	6.177	15	10
max.						6.094	9.019	47	31
Djoemoe cluster									
Akisamao	3.282	1		18	239				
Asidinhopo	2.727	0		15	170				
Asubaso	2.653	1		8	184				
Bendekondre	1.603	3		11	156				
Djoemoe		16		6	15				
Godo	4.638	28	60.960		317	6.037	13.144	11	5
Johankondre	0.031	0		1	2				
Palulubasu	0.912	0		2	63				
Solan	2.743	16	36.743		228	5.833	13.395	14	6
gem.						6	13	13	6
max.									
Botopasi cluster									
Botopasi	11.421	54	89		996	4.728	7.753	18	11
Debikheh (poli)	1.215	12	20		116	9.879	16.822	10	6
Foetoenakaba	4.920	27	54		118	5.488	11.022	4	2
Moizoli	0.078				7		0.000		
Pikin Slee	23.645	89	152		833	3.764	6.409	9	5
totaal									
gem.						5.965	8.401	10	6
max.						9.879	16.822	18	11
Laduani cluster									
Laduani (poli)	0.676	13	22.339		15	19.225	33	1	1
Nieuw Aurora	14.138	103	144.781		1.785	7.285	10	17	12
Tjalikondre	4.197	18	28.077		366	4.289	7	20	13
Gunzi		17	20.171		150				
totaal									
gem.						10.267	16.656	13	9
max.						19.225	33.036	20	13

Bijlage K: Contactgegevens

Floor van den Berg van Saparoea

f.h.vandenbergvansaparoea@student.tudelft.nl

Harry de Brauw

hdebrauw@gmail.com

Joost Nelissen

joostnelissen@gmail.com

Ruud van der Ent

ruudvdent@hotmail.com