

**Environmental Management for Schistosomiasis Control in  
Namwawala, Kilombero District, Tanzania:**

**RIVER FLUSHING.**

Kulturtechnisch / Wasserbauliche Massnahmen zur Bekämpfung von  
Schistosomiasis in Namwawala, Kilombero Distrikt, Tansania:

**FLUSSBETT - SPÜLUNGEN**

**ABHANDLUNG**

zur Erlangung des Titels  
Doktors der technischen Wissenschaften  
der

**EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZÜRICH**

vorgelegt von

**MARTIN FRITSCH**  
Dipl.Kulturing. ETH  
geboren am 18. Juli 1958  
von Basel Stadt (BS)

Angenommen im Antrag von:

Prof. DDr. H. Grubinger, Referent  
Prof. Dr. T.A. Freyvogel, Korreferent  
Prof. Dr. W.A. Schmid, Korreferent

Zürich, 1992



## SUMMARY

Namwawala village, a Tanzanian rural community in the Kilombero District is known to be a mixed *S.haematobium* and *S.mansoni* transmission focus. Despite regular chemotherapy, incidence rates remained high indicating continuous transmission. Main transmission site is the small and seasonal Namwawala River. Snail densities of both intermediate host species *Bulinus globosus* and *Biomphalaria pfeifferi* correlate with the run-off regime showing high densities during the dry season when the water flow is almost stagnant. During the rainy season snail populations are naturally reduced to an undetectable level by the regular floods. Based on this observation a special river flushing technique has been developed and introduced. The idea is to impound the low run-offs during the dry season upstream of the most important breeding and transmission sites in order to release the accumulated water volume in form of a flushing or flood wave. This form of environmental snail control should ensure a sustained effect of the on-going chemotherapy. To test the feasibility of this method a five sliding gate flushing weir has been constructed in 1988 and 1989. After first trials in 1988 regular flushings started in June 1989. Overall a positive snail control effect has been achieved. As of this writing no snails have been found. The flood routing of the flushing processes including some hydrodynamic simulations showed that the control efficiency of river flushing is not based on the drag force effect of higher velocities but on the generation of turbulent and fleeting short lasting shear stresses along the transition zone between the distinct differences of the embankment vegetation and the river bed sediments - the actual habitat zone of the snail populations. The magnitude of the maximal shear stress values depend on the proportion between the equivalent sand grains i.e. the proportion between the roughness conditions of the river bed and the embankment. Design criteria and ways of standardization are discussed in order to place river flushing into a broader control approach.

## ZUSAMMENFASSUNG:

### Entstehung und Hintergrund der Studie:

Das Forschungsprojekt "Kulturtechnisch / Wasserbauliche Massnahmen zur Bekämpfung von Schistosomiasis in Namwawala, Kilombero Distrikt, Tansania: FLUSSBETT - SPÜLUNGEN" entstand aus einer Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Kulturtechnik (IfK) der ETH Zürich, dem Schweizerischen Tropeninstitut (STI) in Basel sowie dessen Feldstation in Ifakara (STIFL), Kilombero Distrikt, Tansania. Massgebend zur Finanzierung beigetragen hat die Direktion für Entwicklungszusammenarbeit und humanitäre Hilfe (DEH) in Bern in Form eines Forschungsstipendiums. Im weiteren haben dazu beigetragen das HELVETAS Strassenbauprojekt KURRP, die Missionwerkstatt "Shule ya Ufundi" in Ifakara, die Versuchsanstalt für Wasserbau und Glaziologie der ETH Zürich (VAW), die Distriktbehörden des Kilombero Distrikt sowie die Bevölkerung des Dorfes Namwawala.

Der Kilombero Distrikt ist Teil der Kilombero Flussebene, benannt nach dem Hauptfluss, dem Kilombero. Dieser ist Teil des Rufiji River Basin, das viert grösste Fluss-System Afrikas, das den grössten Teil Ost-Afrikas in den Indischen Ozean entwässert. 320 km von der Küste entfernt erstreckt sich die Kilombero Ebene auf einer Länge von ca. 260 km und einer Breite von 65 bis 80 km über eine Fläche von mehr als 11'000 km<sup>2</sup>. Die gesamte Flussebene liegt im Schnitt auf 270 bis 275 m.ü.M. (Jätzold&Baum 1968). Ein besonderes Merkmal sind die geringen Gefällsunterschiede: Das Längsgefälle beträgt im Mittel 0.025% (Jätzold&Baum 1968), das Quergefälle 0.1 bis 0.2%. Diese geringen Gefälle sind u.a. die Hauptursache für die zahlreichen meandrierenden und z.T. stehenden Gewässer, der Lebensraum wassergebundener Schnecken der Art *Bulinus globosus* und *Biomphalariaia pfeifferi*. Diese Arten funktionieren als Zwischen-wirte für die Blasen- (*Schistosomiasis haematobium*) sowie die Darmbilharziose (*Schistosomiasis mansoni*).

35 km westlich vom Distrikthauptort Ifakara, am nördlichen Rand der Kilombero Flussebene liegt das Dorf Namwawala. Es erstreckt sich über eine Länge von 4 bis 5 km entlang der TAZARA Eisenbahnlinie sowie der durch das Projekt KURRP erbaute ländliche Erschliessungsstrasse Ifakara-Taweta. Namwawala weist die für die Gegend typische Streusiedlungsstruktur auf. Mit seinen ca. 2000 Einwohnern bedeckt der Siedlungsraum eine Fläche von ca. 10 km<sup>2</sup>. Neben der Verarbeitung von Tropenholz bildet die Subsistenz-Landwirtschaft die Hauptlebensgrundlage der Bevölkerung.

### Schistosomiasis im Kilombero Distrikt und in Namwawala:

Die ersten Fälle von *S.haematobium* wurden 1977 registriert. Die Prävalenz bezogen auf alle Altersgruppen betrug damals 21% (Zumstein 1983). Heute treten in Namwawala regelmässig sowohl *S.haematobium* als auch *S.mansoni* auf.

*S.mansoni* stellt dabei das grössere Gesundheitsrisiko dar. 1984 waren von den unter 16-jährigen Schulkindern 39% mit Parasiten der Darmbiharziose infiziert. 1985 und 1986 stiegen diese Werte auf 54% bzw auf 56% (STIFL Erhebungen, unpubliziert). Auf Anfrage des Dorfes startete STIFL 1984 mit einer jährlichen chemotherapeutischen Behandlung (Praziquantel) dieser Altersgruppe. Trotz der guten Behandlungserfolge stellte sich mit z.t. über 50% eine hohe Reinfektionsrate (Inzidenz) ein. Diese Beobachtungen führen zum Schluss, dass die chemotherapeutische Behandlung ohne die Bekämpfung der Zwischenwirte - sei es in Form von Molluskiziden oder durch die Zerstörung der Lebensbedingungen der Wasserschnecken - von nur kurzfristiger Wirkung ist.

### **Die Populationsdichte und Vereteilung der Zwischenwirte:**

Seit 1986 erfasste STIFL monatlich die Populationsdichten und räumliche Verteilungen im gesamten Dorf an bestimmten vorgegebenen Brutplätzen. Die Untersuchungen zeigten, dass sich die wichtigsten Brut- und auch Übertragungs-orte v.a. entlang der beiden Flüsse Namwawala und Nyarubungo befinden. Dabei kommt dem Namwawala Fluss die grössere Bedeutung zu, liegt er doch näher am eigentlichen Dorfzentrum und in unmittelbarer Nähe der Primar-Schule. Signifikant waren dabei die markanten Schwankungen der Populations-dichten beider Schneckenarten. Es zeigte sich eine direkte Korrelation mit dem Abflussregime des Flusses: Während der Regenzeit (Februar bis Mai) mit hohen bis zu 30 m<sup>3</sup>/s reichenden Abflüssen mit den entsprechend hohen Abflussgeschwindigkeiten verschwanden die Schnecken vollständig und konnten nicht mehr nachgewiesen werden. Gegen die nachfolgende Trockenzeit (Juni bis Dezember) geht die Wasserführung stark zurück. Im November und Dezember kommt es häufig vor, dass kein Wasser mehr fliesst. Zu einer vollständige Austrocknung kommt es wegen des hohen Grundwasserspiegels alledings nicht. Das Wasser bleibt im Flussbett liegen. Damit herrschen optimale Brutbedingungen und die Schneckenpopulation erholen sich rasch, erreichen wieder eine hohe Populationsdichte und bilden damit die Voraussetzungen für einen erneut sich einstellenden Übertragungszyklus.

### **Flussbett-Spülungen als kulturtechnisch/wasserbauliche Bekämpfungsmethode:**

Gestützt auf diese Beobachtungen wurde die Methode einer Flussbett-Spülung entwickelt. Grundsätzlich wird darauf abgezielt den natürlichen Spüleffekt der Regenzeit künstlich bis in die Trockenzeit zu verlängern. Dazu sollen die kleinen Abflussmengen mittels eines Wehres eingestaut und in Form eines Spül-schwalles - ähnlich eines kleineren Hochwassers - abgelassen werden. Damit soll verhindert werden, dass sich die Schneckenpopulationen wieder erholen können.

Verschiedene Studien haben auf die Empfindlichkeit von Bilharzia-Schnecken bezüglich erhöhter Fliessgeschwindigkeit hingewiesen (Jobin & Ippen 1964, Jobin *et al.* 1979 and 1984, Jewsbury 1985). Diese Untersuchungen ermittelten eine Fliessgeschwindigkeit von 0.2-0.3 m/s bei der die Wasser-schnecken sich nicht weiter fortbewegen können, da sie sämtliche Kräfte darauf verwenden müssen, sich gegen den Fliesswiderstand festzuhalten. Wird die Fliessgeschwindigkeit auf 0.6 m/s erhöht, werden die Schnecken losgerissen und weggeschwemmt.

Im Falle des Namwawala Flusses wurde ein 5-gliedriges Hubschützenwehr mit einer maximal möglichen Einstauquote von 2.0 m gebaut (1987/1988). Das Wehr liegt unmittelbar bei der KURRP Strassenbrücke, oberhalb der wichtigsten Brut- und Übertragungsplätze. Die gesamte Spannweite beträgt 15 m und die Anlage ist so gebaut, dass die Schützen bis über die Brückenunterkante gezogen werden können, um so den gesamten lichten Brückenquerschnitt in der Regenzeit freizugeben. Es soll vermieden werden, dass der Brückenquerschnitt in irgend einer Art verengt wird, damit bei Hochwasser kein Rückstau auftritt. Das gesamte Stauvolumen beträgt 14'000 - 15'000 m<sup>2</sup>. Für den Spülvorgang wird nur der mittlere Schütz gezogen. Die Anlage erlaubt sämtliche Stauquote zwischen 0 und 200 cm auszuprobieren. Im weiteren wurde darauf geachtet, dass die technische Ausgestaltung möglichst einfach, robust und mit Materialien gebaut wurde, die in Tansania erhältlich sind.

Da das Wehr als attraktiver Zugangsort zum Fluss beliebt wurde, wurde unmittelbar anschliessend dem Wehr ein mit Zementmörtel ausgekleideter Bade- und Waschplatz angefügt. Damit soll erreicht werden, dass flussabwärts nicht nur Schnecken dezimiert werden, sondern der Bevölkerung ein sicherer Zugang zum Fluss zur Verfügung steht. Im Nachbarfluss Nyarubungo wurden keine Spül-versuche durchgeführt und der Fluss diene damit als Kontrollgrösse.

### **Die Spülversuche:**

Die ersten Spülversuche fanden 1988 statt. Auf grund der extremen Trockenheit ging der Abfluss schon im August soweit zurück, dass in diesem Jahr nur 3 Spülungen durchgeführt wurden. Zudem hatte sich schon eine Schnecken-population gebildet bevor die Versuche begannen. 1989 herrschten wieder die üblichen meteorologischen Bedingungen und es konnten insgesamt 46 Spülungen durchgeführt werden im Gegensatz zu 24 im Jahre 1990. Die Staukoten variierten zwischen 64 und 200 cm.

1989 wurden von den 46 Versuchen 20 genauer untersucht. An drei Kontrollquerschnitten, jeweils 170, 750 und 1250 m flussabwärts des Wehrs, wurden für verschiedene Stauquoten (1.0, 1.5, 2.0 m) folgende Parameter gemessen: Der Pegelverlauf während einer Spülung. Photographisch und simultan mit drei Kameras und eingeblendeter Zeit an den drei Querschnitten aufgezeichnet; Die Geschwindigkeitsverteilung im Gerinne mittels einer Flügelsonde; Am Wehr selbst wurden jeweils vor dem Schliessen der Schützen der normale, ungestörte

Abfluss gemessen; Zusätzlich die Einstauzeiten pro 5 cm Pegelanstieg sowie während eines Spülvorgangs die Zeiten für den Pegelabfall für die selbe Pegeldifferenz von 5 cm. Rückwirkend konnte damit das Stauvolumen sowie die Abflussganglinie während eines Spülvorgangs am Wehr gerechnet werden.

### **Die Entwicklung der Schneckenpopulationen:**

Mit den nur 3 Spülversuchen in 1988 wurde eine deutliche Verringerung der Populationsdichten erreicht. Nach der ersten Spülung ging die Anzahl der gefundenen *Bulinus globosus* - Schnecken um 77% und für *Biomphalaria pfeifferi* - Schnecken um 66% zurück. Zu einem vollständigen Verschwinden kam es jedoch nicht. Mit den folgenden zwei Spülungen konnten die Populationsdichten auf diesem niedrigen Niveau gehalten werden. Zwei Monate nach der dritten und letzten Spülung wurde ein dramatischer Anstieg der Populationen, sowohl für *B.globosus* als für *B.pfeifferi* festgestellt. Auffällig war, dass v.a. sehr viele kleine, d.h. junge *Biomphalaria* - Schnecken gefunden wurden. 1989 wurde mit den Spülungen einen Monat früher begonnen, zu einem Zeitpunkt wo sich noch keine neue Schneckenpopulationen entwickelt hatten. Auf diese Weise konnte erreicht werden, dass bis heute sowohl keine *Bulinus* - als auch keine *Biomphalaria* - Schnecken gefunden wurden.

### **Flussmorphologische und hydrodynamische Effekte:**

Typisch für alle Spülversuche und Kontrollquerschnitte waren die schwachen Geschwindigkeitsgradienten in den Randzonen des durchströmten Querschnitts. Maximalgeschwindigkeiten wurden in der Mitte des Gerinnes leicht unterhalb der Wasseroberfläche gemessen. Diese Maximalwerte schwankten in den drei Querschnitten zwischen 1.2 - 1.6 m/s, 0.9 - 1.4 m/s und 0.9 - 1.4 m/s für Stauquoten von jeweils 2.0, 1.35 und 1.0 m. Diese Geschwindigkeitsverteilung konnte das Ausbleiben der Schnecken nicht befriedigend erklären. In den Randzonen sanken die Geschwindigkeiten auf 0.1 - 0.2 m/s. Der damit erzeugte Strömungswiderstand könnte von den Schnecken überwunden werden. Im weiteren war es messtechnisch nicht möglich die Geschwindigkeiten für alle Punkte zeitgleich zu messen. Dazu kommt, dass der Abfluss während einer Spülung instationär ungleichförmig ist. Damit wird die Auswertung der Geschwindigkeitsverteilungen schwierig und bedingt einer weiteren Abflusssimulation um die Felderhebungen zu ergänzen als auch besser zu interpretieren.

## **Die Untersuchung der Geschwindigkeits- und Schleppspannungsverteilungen mittels der Anwendung von DIRCROS:**

Zur Anwendung kam das Simulationsprogramm DIRCROS (Distribution in River Cross Sections), das von der Versuchsanstalt für Wasserbau (VAW) an der ETH Zürich entwickelt wurde. Für einen beliebigen, vorgegebenen Querschnitt erlaubt es die Berechnung der Geschwindigkeitsverteilungen, den Abfluss, den Verlauf der turbulenten Schleppspannungen entlang des benetzten Umfanges, den Sedimenttransport sowie die turbulenten kinetischen Viskosität. Das Programm beruht auf der Gleichung von Navier-Stokes sowie der Kontinuitätsgleichung. Als Eingabeparameter wird die Geometrie des Querprofils verwendet, das Gefälle, die Rauigkeiten in Form einer äquivalenten Sandrauigkeit sowie die Anfangsgeschwindigkeiten in der Grenzschicht. Insgesamt wurden 20 Simulationen für die drei Querprofile gerechnet, mit den entsprechenden Pegelständen die während der Spülungen gemessen wurden.

Der grosse Vorteil des Programmes ist die Möglichkeit turbulente Geschwindigkeitsschwankungen zu simulieren. Die Geschwindigkeit setzt sich aus einem konstanten ( $u^*$ ) sowie einem turbulenten, pulsierenden Term ( $u'$ ) zusammen. Der turbulente Teil wird über den Ansatz von Prandtl gerechnet (Prandtl'sche Mischlänge  $l_m$ ), der die turbulente Bewegung von Flüssigkeitspartikeln in eine Länge umsetzt: Bewegt sich ein Flüssigkeitspartikel wegen turbulenter Strömungen von A nach B wird es in B eine neue Geschwindigkeit haben,  $\Delta u$  verschieden von der mittleren Geschwindigkeit  $u$ . Die Distanz für welche  $\Delta u$  die gleiche Dimensionen wie die maximalen turbulenten Geschwindigkeitschwankungen annimmt, wird als Prandtl'sche Mischungslänge  $l_m$  bezeichnet.

Die Messwerte dienten bei der DIRCROS Anwendung als eine Art Eichung und Kontrollgrösse. Tatsächlich stimmen die gerechneten Geschwindigkeitsverteilungen mit denen im Feld sehr gut überein. Dies lässt auf der einen Seite auf ein fehlerfreies Messen schliessen sowie andererseits auf die Qualität der Simulationen. Im Falle einer guten Übereinstimmung der Geschwindigkeitsverteilungen, wurde die dazugehörige Verteilung der Schleppspannungen entlang des benetzten Umfanges aufgezeichnet.

## **Die Schleppspannungsverteilung:**

Diese Verteilung zeigte einen für alle Versuche charakteristischen Verlauf: Entlang der Übergangzone zwischen der Böschungsvegetation mit der entsprechend hohen Rauigkeit (dargestellt mit einem äquivalenten Korndurchmesser von 0.5 m) und dem anschliessenden feineren Flussbett-Sediment treten markante Schleppspannungsspitzen auf. Gleichzeitig sind die Isotachen an diesen Stellen stark gebündelt, d.h. es treten hohe Geschwindigkeitsgradienten auf.

## **Interpretation der hydrodynamischen Mechanismen:**

Die Erklärung für diesen Schleppspanungsverlauf liegt in den Differenzialgleichungen nach denen DIRCROS rechnet: Darin werden Schleppspannungen v.a. über die Geschwindigkeitsgradienten sowie über die Prandtl'sche Mischlänge bestimmt. Diese wiederum sind abhängig von den Rauigkeitsverhältnissen entlang des benetzten Umfangs. Hohe Schleppspannungen treten dort auf, wo die Isotachen stark gebündelt, d.h. die Gradienten hoch sind und dies wiederum ist nur der Fall, wo die Rauigkeiten stark ändern, d.h. entlang des Böschungsfusses, bzw. entlang der Uferzone. Diese Zone entspricht genau dem Siedlungsraum der Schnecken innerhalb des Flusses. Der laminare Geschwindigkeitsanteil kann vernachlässigt werden, da die Ablüsse während einer Spülung vollständig turbulent sind. D.h., dass die Geschwindigkeitsverteilung nicht von der molekularen oder kinematischen Viskosität abhängt und die äquivalenten Snadkörner (als Mass für die Gerinne-Rauigkeit) vollständig der turbulenten Strömung ausgesetzt sind. Dies wurde mittel der Reynolds'schen Rauigkeitszahl überprüft. Damit steht fest, dass im Falle dieser Flussbett-Spülungen es sich um **turbulente, pulsierende Schleppspannungen** handelt. Gleichzeitig lässt sich zeigen, dass diese Schleppspannungen nicht direkt von der Wasserführung, d.h., von der Höhe der Stauquote abhängen. Tatsächlich wurde festgestellt, dass auch bei Spülversuchen mit einer Stauquote von nur 1.0 m, die gleichen Spitzenwerte auftreten.

## **Schlussfolgerungen:**

- Die Versuche haben gezeigt, dass es möglich ist, mittels kulturtechnisch/wasserbaulichen Massnahmen Wasserschnecken der Gattung *Bulinus* und *Biomphalaria* zu bekämpfen.
- Die Spülungen haben einen "Doppeleffekt": Auf der einen Seite reduzieren sie die Populationsdichten. Auf der anderen Seite verhindern sie das Wieder-aufkommen neuer Populationen.
- Durch das ständige aufrechterhalten ungünstiger Lebensbedingungen wird schliesslich das Potential einer natürlichen Reproduktionsbasis zerstört und die Populationen können sich nicht mehr erholen.
- Hydrodynamisch wird dies nicht, wie ursprünglich angenommen, durch das Erzeugen höherer Fliessgeschwindigkeiten erreicht, sondern durch turbulente, pulsierende Schleppspannungen. Diese erreichen ausgeprägte Spitzenwerte entlang des Böschungsfusses, der Übergangszone zwischen den grossen Rauigkeiten der Ufervegetation und den feineren Flussbettsedimenten - dem eigentlichen Lebensraum der Wasserschnecken.



- Die Spitzenwerte hängen von den Geschwindigkeitsgradienten ab sowie vom Verhältnis der Rauigkeiten zwischen Ufervegetation und Flussbett. Dadurch sind sie nicht direkt abhängig vom Wasserstand und der maximalen je erreichten Pegelhöhe in einem Querprofil.
- Damit kann gesagt werden, dass sich der selbe Spüleffekt auch mit kleineren Spülungen und damit mit einem wesentlich geringeren Bauaufwand erreichen lässt. Im Falle von Namwawala genügt eine Stauquote von 0.8 - 1.0 m.
- Hydraulisch und hydrodynamisch lässt sich die Bedingung aufstellen, dass entlang des gesamten Kontroll-Abschnittes während einer Spülung mindestens der unterste Vegetationssaum überspült sein muss.
- Flussbett-Spülungen können in Flüssen durchgeführt werden, deren flussmorphologische Eigenschaften folgende Bedingungen erfüllen:
  1. Der Fluss muss so lange Wasser führen, damit Spülungen bis mindestens 2 Monate vor dem Ende der Trockenzeit durchgeführt werden können. Damit wird die Zeit für die Schneckenpopulationen zu kurz, um sich wieder erholen zu können.
  2. Das Flussbett muss klar definiert sein und keine seitlichen Verbindungen zu Altarmen haben, damit es dort zu Zwischenablagerungen von Schnecken kommt und damit die Gefahr einer Reimigration besteht.
  3. Ein Wehr oder ein ähnliches Bauwerk, muss mit einfachsten Mitteln gebaut sein, soll technisch einfach zu bedienen sein und keinen grossen Unterhalt verlangen.
  4. Wenn immer möglich sollten Flussbett-Spülungen mit dem natürlichen Spüleffekt der Regenzeit kombiniert werden. Die Spülungen müssen vor dem sich Entwickeln einer neuen Population von Zwischenwirten einsetzen.
- Die Spülintervalle sollen so kurz als möglich sein. Dies hängt vom natürlichen Abfluss ab, d.h. gegen Ende der Trockenzeit werden die Intervalle länger. Die Erfahrungen aus den Jahren 1988 und 1989 haben gezeigt, dass der zeitliche Abstand zwischen zwei Spülungen nicht länger als 10 - 12 Tage sein sollte, d.h. nicht länger als die durchschnittliche Zeit, bis aus gelegten Eiern neue Schnecken schlüpfen.
- Die Arbeit verzichtet darauf, die erarbeitete Bekämpfungsmassnahme zu standardisieren. Es wird darauf hingewiesen, dass die Anwendung von kultur- und umweltechnischen Massnahmen eine genaue Abklärung der epidemiologischen und vektorökologischen Bedingungen voraussetzt, um die richtigen und am besten beeinflussbaren Kontrollparameter eines Ökosystems zu erkennen. Nicht die Anwendung von umweltechnischen Massnahmen, sondern deren Erarbeitung sollen standardisiert sein. Es wird in diesem Zusammenhang ausführlich ein systemtechnischer Ansatz vorgestellt, der aufzeigt, wie die entsprechende Lösung für den Fall Namwawala gefunden und angepasst wurde.

Dieses Vorgehen zeigt ebenfalls auf, wo welche Daten erhoben werden müssen, mit welchen anderen medizinischen - biologischen Fachbereichen zusammengearbeitet werden soll und wo Erfolgskontrollen bzw. Rückkopplungsmechanismen notwendig sind.

- Im weiteren wird angeregt, kulturtechnisch/wasserbauliche Massnahmen, wie im übrigen auch alle weiteren umwelttechnischen Massnahmen zur Bekämpfung von Vektoren und Zwischenwirten in einen grösseren, interdisziplinären Ansatz zu stellen. Umwelttechnische Massnahmen sind alleine wenig sinnvoll: Erstens hat sich gezeigt, dass sie mehr die Voraussetzung und Grundlage sind für die erfolgreiche und nachhaltige Behandlung einer Krankheit wie die Bilharziose. Zweitens wird eine flächendeckende Anwendung in Anbetracht der Vielzahl der Brutplätze und deren geographischen Verbreitung unrealistisch. Es wird notwendig punktuell vorzugehen und die Massnahmen mit weiteren wie z.B. das Ausbringen von pflanzlichen Molluskiziden, oder dem Ausbau der Trinkwasserversorgung sowie dem Bau von Latrinen zu kombinieren. Das Ziel ist, dass umwelttechnische Massnahmen primär zur Verbesserung der Lebensgrundlagen führen und gleichzeitig zur Bekämpfung von Vektoren und Zwischenwirten beitragen.

Im Falle von Namwawala liesse sich das Wehr gleichzeitig als Fassung für eine Kleinbewässerung, oder als lokale Grundwasseranreicherung oder als öffentlicher Bade- und Waschplatz verwenden. Dieser letzte Punkt ist mit dem Bau eines vorgelagerten Beckens weitgehend erfüllt.

### Offene Fragen:

Die Studie hat neben neuen Erkenntnissen über das Verhalten von Wasserschnecken gegenüber dem Fliessverhalten in natürlichen Gerinnen auch Fragen offen gelassen sowie neue aufgeworfen:

- In wie weit kann der Erfolg umwelttechnischer Massnahmen auch über tiefere Inzidenz- und Prävalenzwerte nachgewiesen werden? Da der Nachbarfluss Nyarubungo als Referenzgrösse diente und dort weiterhin *Bulinus* und *Biomphalaria* Schnecken gefunden wurden, konnte nicht ausgeschlossen werden, dass es trotz der weiterhin laufenden chemotherapeutischen Behandlung nicht zu neuen Infektionen gekommen ist. Die Frage kann nur beantwortet werden, in dem das Verhalten bezüglich Wasserkontakten einer bestimmte Gruppe von z.B. Schulkindern bekannt ist und man weiss, dass diese Kinder ausschliesslich im Namwawala Fluss baden. Diese Gruppe kann dann chemotherapeutisch behandelt und medizinisch weiter beobachtet werden.
- Bis wie weit werden Schnecken flussabwärts geschwemmt und wie entwickeln sich dort die Populationen weiter?

- Können sich Schneckenpopulationen bei einem totalen Einstellen der Spülungen wieder erholen und wenn ja, wie lange dauert dieser Prozess?
- Könnte trotz den vorgebrachten Bedenken, ein standardisiertes Minimal-Wehr entworfen werden?
- Wie sieht eine Kosten-Nutzen Analyse aus? Kann sie überhaupt rein auf die Wirksamkeit von Flussbett-Spülungen ausgerichtet sein?
- Können Schleppspannungen, der massgebende Kontrollparameter, als Bemessungsgrundlage für die "schneckensichere" Ausgestaltung von z.B. Bewässerungskanalen verwendet werden?
- Können die vorgestellten Erkenntnisse in das Betriebsmanagement von Bewässerungsanlagen eingebaut werden?