

# Sicherstellung einer nachhaltigen Wasserversorgung in einem Land mit tropischem Klima

## Einführung

Im Rahmen einer Kooperation zwischen der Ostbayerischen Technischen Hochschule (OTH) und dem Regensburger Förderverein für Musik und Kultur Uganda e.V. soll die Wasserversorgung einer Schule im ostafrikanischen Masaka verbessert werden. Der Verein fördert den Bau und die Unabhängigkeit der International School of Music and Languages (IMLS). Diesem Hilfsprojekt schlossen sich im Jahr 2023 acht Studierende der OTH im Rahmen ihrer Bachelorarbeit an.

Es folgt eine Zusammenfassung der durchgeführten Arbeiten und den daraus gewonnenen Erkenntnissen. Die Arbeit teilt sich in drei Schwerpunkte auf:

1. Das erste Kapitel befasst sich mit der Entwicklung und Implementierung von Wasserfiltern zur Verbesserung der Trinkwasserversorgung.
2. Der zweite Teil fokussiert sich auf die Planung und den Bau von fünf Zisternen, die dazu dienen, gesammeltes Regenwasser vom Dach der Schule zu speichern und die Einrichtung mit Brauchwasser zu versorgen.
3. Der letzte Abschnitt widmet sich der Ermittlung der planerischen Grundlagen einer kostengünstigen und ökologischen Abwasserreinigung.

## Sicherstellung der Trinkwasserversorgung einer Schule in Uganda

### Filtertechnik nach CAWST

Als Grundlage bei der Entwicklung der Filter wurde sich an der Filtertechnik nach dem Centre for Affordable Water and Sanitation Technology (CAWST) orientiert. Der Filter nach CAWST besteht aus einem quaderförmigen Betonkörper mit einem

einbetonierten Schlauch zur Wasserbeförderung. Der Korpus hat eine Höhe von 96 cm und eine Breite von 41,50 cm. Auf der Oberseite befindet sich eine quadratische Öffnung für das Befüllen des Filters und ein Wasserauslass, welcher das gefilterte Wasser siphonähnlich heraufbefördert. In der obenliegenden Öffnung befindet sich ein Diffusor, welcher die Aufgabe hat, das Wasser langsam einzuleiten, sodass das Aufschwemmen des Sandes verhindert wird. Der Filter besteht aus verschiedenen Schichten. Im oberen Teil ist eine Sandschicht mit Gesteinskörnungen  $< 0,7$  mm. Diese stellt den Hauptteil des Filters dar. Darunter folgen eine Trennschicht und eine Drainageschicht.[1]

Nach circa 30 Tagen soll sich eine Bioschicht entwickeln, welche bis zu 99% der unerwünschten Bakterien filtert. Der Wasserpegel über dem Sand sollte stets 4-6 cm betragen, um die Bioschicht zu erhalten. Pro Befüllung sollten nicht mehr als 10-12 Liter eingegossen werden, wobei zwischen mehreren Befüllvorgängen mindestens einer Stunde gewartet werden muss. Eine Durchflussrate des Wassers von  $\leq 400$  ml/min ist optimal. Es wird empfohlen, stets chlorfreies Wasser aus derselben Quelle zu verwenden, um die Anpassung der Bioschicht an die Kontamination zu gewährleisten.[1]

### Durchführung eines Eigenversuches

Da die schon im Vorjahr gebauten Betonfilter nach CAWST nicht mehr voll funktionsfähig waren, wurde nach Auswertung von Testergebnissen und Erfahrungsberichten von anderen Trinkwasserfilterprojekten im Senegal, ein Eigenversuch in Deutschland gestartet. Es wurden zwei verschiedene Filtermodelle untersucht: ein Betonfilter und ein neu entwickelter Tonnenfilter. Für den Betonfilter wurde als Probeobjekt ein Hohlquader verwendet, welcher im Jahr zuvor nach den Anleitungen von CAWST hergestellt wurde.

Für den Prototypen des Tonnenfilters wurde ein Maischefass mit 120 Liter Fassungsvermögen aus lebensmittelechtem Polyethylen verwendet. Das Fass hat eine Höhe von 80 cm und einen Durchmesser von 47 cm. Der Diffusor wurde aus einem

Untertopf, in welchen Löcher gebohrt wurden, hergestellt.

Die Filterschichten für beide Filtermodelle wurden gemäß der den Vorgaben nach CAWST aufgebaut.

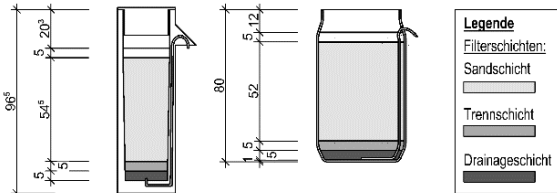


Abbildung 1: Darstellung der Filtermodelle im Schnitt

Für den Betonfilter wurden folgende Korngrößen verwendet: Sandschicht (<0,7 mm), Trennschicht (0,7-6,0 mm) und Drainageschicht (6,0-12,0 mm). Für den Tonnenfilter wurden leicht abweichende Korngrößen verwendet.

## Durchführung von Testreihen an Wasser und Filtermodellen

Nachdem die beiden Wasserfilter fachgerecht befüllt und aufgestellt waren, wurde Tests auf biologische und hydraulische Funktionalität durchgeführt:

Es wurden Wasserproben auf das Vorhandensein von Coliformen Bakterien untersucht. Die Untersuchung erfolgte mithilfe des EC Blue-Tests und des mWater E. coli Test-Kits. Im Laufe von drei Monaten wurden mehrmals Testungen durchgeführt, um die Wasserqualität zu überprüfen. Hierbei wurden Proben aus dem Betonfilter und dem Tonnenfilter mit dem ungefilterten Brunnenwasser und vollentsalztem Wasser verglichen. Bei den Untersuchungen mit dem EC Blue-Test zeigte sich, dass die meisten Proben eine grünliche bis blaugrüne Verfärbung aufwiesen, was auf das Vorhandensein von Coliformen Bakterien hinweist. Beim mWater E. coli Test-Kit gab es einige Unklarheiten bei der Interpretation der Ergebnisse. Es wurden Unterschiede zwischen den Beuteltests und den Trockenplatten festgestellt.

Außerdem wurden die Filter anhand Flow-Rate Tests auf ihre Durchflussgeschwindigkeiten untersucht. Diese geben Aufschluss auf die Funktionsfähigkeit.

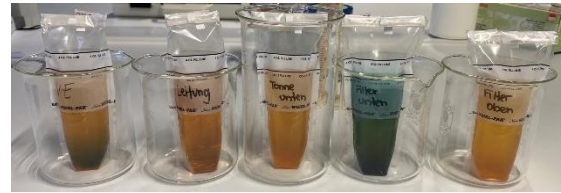


Abbildung 2: Analyse der Wasserproben

## Auswertung des Eigenversuchs

Die beiden getesteten Filtermodelle funktionierten hydraulisch gut. Der optimale Wasserstand von 4 bis 6 cm wurde schnell erreicht. Die Durchflussraten des Betonfilters lagen größtenteils im optimalen Bereich, und auch die des Tonnenfilters waren ausreichend. Eine tägliche Benutzung der Filter über einen Zeitraum von etwa drei Monaten verlief problemlos. Der Betonfilter wies minimale undichte Stellen auf, was zu einem geringfügigen Wasseraustritt während der Nutzung führte.

Trotz regelmäßiger Tests der Wasserqualität während des Versuchszeitraums konnte keine eindeutige Verbesserung der Wasserqualität durch die Filtration des Brunnenwassers festgestellt werden. Dies war auf unterschiedliche Schlussfolgerungen hinsichtlich coliformer Keime bei den beiden Testvarianten zurückzuführen, sowie auf mögliche Testfehler bei der Auswertung der Ergebnisse des mWater Test-Kits.

Es wird empfohlen, für zukünftige Untersuchungen zur Vergleichsanalyse von gefiltertem und ungefiltertem Wasser quantitative Untersuchungsmethoden zu verwenden. Außerdem sollte besonders bei der Verwendung des mWater Test-Kits immer eine Vielzahl von Wasserproben aus einer Quelle genommen werden, um mögliche Fehler bei der Testdurchführung auszuschließen.

Es konnte visuell nicht festgestellt werden, ob sich die gewünschte Bioschicht auf den Filtern gebildet hatte. Eine mögliche Ursache dafür könnte die Verwendung eines zu großen Lochdurchmessers beim Diffusor sein. Dies könnte dazu führen, dass der Feinsand während der täglichen Befüllung aufgewirbelt wurde und somit keine Bioschicht entstehen konnte.

## Bau eines Tonnenfilters vor Ort

Aufgrund der schlechten Betonqualität wurden alle Filter des letzten Jahres außer Betrieb genommen und stattdessen ein Tonnenwasserfilter erstellt, um das Problem des Wasseraustritts zu umgehen. Es wurden zwei verschiedene Tonnenfilter umgesetzt. Um Kosten zu sparen, wurden für die erste Variante die für die Betonage vorhandenen Gesteinskörnungen im Rohzustand verwendet. Die von CAWST vorgeschriebenen Korngrößen und Schichtdicken wurden hierbei nicht eingehalten. Diese Variante zeigte jedoch Probleme mit der Filterfunktion auf, da die untere Öffnung des Schlauches verstopft wurde.

Die zweite Variante des Tonnenfilters erfolgte nach dem in Deutschland erprobten Aufbau. Bei diesem wurden die verschiedenen Körnungen vorbereitet und gesiebt. Hierfür wurde in Uganda ein Drahtgewebe mit einer Lochweite von 1 mm für die Filterschicht und ein 6 mm Gewebe für die Herstellung der Trenn- und Drainageschicht verwendet.



Abbildung 3: Erstellter Tonnenfilter in Uganda

Um sicherzustellen, dass der Filter täglich mit Regenwasser befüllt wurde, wurden zwei Lehrer und eine deutsche Freiwillige hinzugezogen. Damit für die Befüllung des Filters ausschließlich Regenwasser verwendet wird, wurde ein Außenwasserhahn bei den Zisternen installiert.

Es wurde den Verantwortlichen mitgeteilt das gefilterte Wasser nach 30 Tagen zu testen, um die Filterfunktion zu überprüfen. Eine erste Kontrolluntersuchung nach zehn Tagen zeigte, dass der Filter während der Abwesenheit der Gruppe nicht richtig betrieben wurde.

## Fazit Wasserfilter

Die im letzten Jahr hergestellten Betonfilter wiesen eine unzureichende Wasserdichtigkeit auf, was bereits im Vorfeld von den

Lehrkräften der Schule bemerkt wurde. Dies führte dazu, dass die Filter nach ihrer Fertigstellung im letzten Jahr nicht genutzt wurden. Aufgrund des Wasseraustritts war eine optimale Nutzung des Raums nicht mehr möglich. Zukünftige Filterprojekte sollten von der Verwendung von Beton absehen, da die vor Ort verfügbaren Baumaterialien und die dortige Betonage keine ausreichende Betonqualität gewährleisten können.

Bei der Konstruktion des Tonnenfilters wurde festgestellt, dass eine hydraulische Funktionalität nur dann gewährleistet ist, wenn die Schichten gemäß den Vorgaben von CAWST in Bezug auf Dicke und Korngröße ausgeführt werden. Eine Trennschicht erwies sich als notwendig. Außerdem sollten die Korngrößen der Drainageschicht nicht unter 6 mm liegen, um das Festsetzen von zu kleinen Steinen im Inneren des Schlauches zu verhindern. Der Aufwand für den Bau des Tonnenfilters in Uganda war vergleichsweise gering. Alle benötigten Materialien waren verfügbar. Der Kunststoff der Tonne erwies sich als ausreichend robust und wasserdicht, allerdings konnte die Langzeitbeständigkeit bei täglicher Nutzung noch nicht festgestellt werden.

Es wurde erkannt, dass der Standort des Filters sorgfältig gewählt werden muss, um unerwünschte Zugriffe zu verhindern. Die Wahl des Standorts im Restaurant der Schule ermöglichte eine Einbindung der gesamten Schule, führte jedoch auch zu kurzzeitigen Problemen mit neugierigen Schülern.

Die Einweisung der Verantwortlichen vor Ort ergab, dass das Verständnis für Wasserfilter im Allgemeinen beim Schulpersonal nicht vollständig ausgeprägt ist. Es war auch schwierig, eine zuverlässige Person zu finden, die sich täglich um die Befüllung des Filters kümmert.

Abschließend wird festgestellt, dass die Errichtung eines Tonnenfilters in Uganda grundsätzlich möglich ist, jedoch das Konzept des Wasserfilters von den Einheimischen nicht vollständig akzeptiert wird. Da die tägliche Befüllung entscheidend für die Funktionalität des Filters ist, muss

sichergestellt werden, dass ein ausreichendes Grundverständnis und Interesse seitens der Verantwortlichen vor Ort vorhanden sind. Da dies unserer Einschätzung nach nicht der Fall war, wird empfohlen, das Filterprojekt in Uganda nicht weiter auszuführen.

## Möglichkeiten zur Nutzung von Niederschlagswasser in Uganda

An der Schule wurden im Sommer 2022 zwei Zisternen mit einem Speichervolumen von je 10.000 Liter errichtet. Das Regenwasser wird zum Bewässern der Außenanlagen, zum Spülen der Toiletten und gegebenenfalls auch zum Kochen und Trinken verwendet. Das Wasser wird von Pumpen in zwei 5.000 Liter Speichertanks oberhalb der Schule geleitet. Dadurch kann die ganze Einrichtung ohne weitere elektrische Anlagen, rein durch den Höhenunterschied und den daraus resultierenden hydrostatischen Druck des Wassers, versorgt werden.[3]

Aufgrund einer eingestürzten Zisterne und einem erhöhten Bedarf an Wasser, wurde auch im Jahr 2023 ein Fokus auf das Thema Zisternenbau gelegt. Dabei wurde neben der Bedarfsermittlung eine optimierte Variante für den Bau der Tanks ausgearbeitet.

## Bedarfsermittlung der Wasserspeicherkapazität

Auf der Dachfläche von 786 m<sup>2</sup> fallen jährlich etwa 1560 m<sup>3</sup> Regenwasser an. Der Wasserverbrauch wird mit 6 Litern pro Person und Tag angenommen. Zusätzlich wird für die Bewässerung der Gartenfläche ein Verbrauch von sechs Litern pro Quadratmeter und Jahr angesetzt. Die aktuelle Gartenfläche beträgt 3728 m<sup>2</sup> und die Anzahl der Personen liegt bei etwa 150. Daraus ergibt sich ein Speicherbedarf von fast 32 m<sup>3</sup>, um die Zisternen für eine Trockenperiode von drei Wochen auszulegen. [4]

Um sicherzustellen, dass die Speicher langfristig ausreichend dimensioniert sind, wird auch das geplante zweite Stockwerk der Schule mit einbezogen. Es wird angenommen, dass sich die Schülerzahl

aufgrund des größeren Raumangebots verdoppelt. Zudem vergrößert sich die Dachfläche auf 1024 m<sup>2</sup>. Demnach ergibt sich eine benötigte Speicherkapazität für die beiden Stockwerke von insgesamt 51 m<sup>3</sup>. Daher wird ein Gesamtspeichervolumen von 50.000 Liter als sinnvoll erachtet. [4]

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde beschlossen, die bestehende Zisterne auf der westlichen Seite um zwei weitere zu ergänzen. In östlicher Richtung wird der defekte Tank ersetzt und ein zweiter Speicher gebaut, sodass insgesamt fünf Zisternen die Wasserversorgung der Schule gewährleisten.

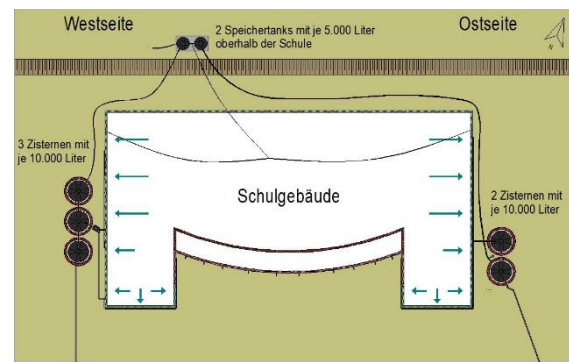


Abbildung 4: Übersichtsplan Schule [2,3]

## Ausführung der Zisternen

Vor der Ankunft in Masaka wurden die beiden Baugruben von ugandischen Arbeitern händisch ausgehoben. In diesen wurde das Mauerwerk kreisförmig auf einer Sauberkeitsschicht von der Baugrubensohle bis zur Geländeoberfläche errichtet.

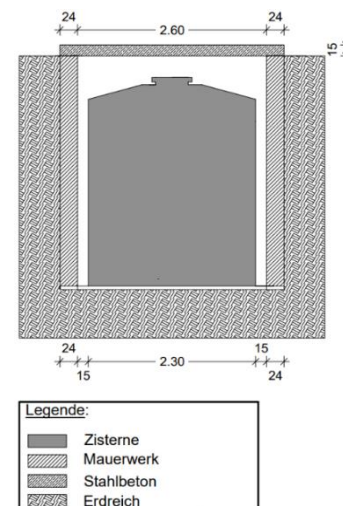


Abbildung 5: Unterkonstruktion im Schnitt [2]

Dadurch sind die Kunststofftanks nach dem Einsetzen nicht dem anstehenden Erddruck ausgesetzt und die Last des Deckels wird über das Mauerwerk in den Untergrund abgetragen.

Um die Unebenheiten der Baugrubensohle auszugleichen und die Speicher vor Beschädigungen zu schützen, wurde unter diesen eine dünne Sandschicht eingebracht.



Abbildung 6: Fertiggestelltes Mauerwerk

Das Wasser wird am Boden der Zisterne durch einen Siphon eingeleitet, damit möglichst wenig Schmutz aufgewirbelt wird. Die Verbindung der einzelnen Zisternen erfolgte im unteren Drittel durch eine horizontale Rohrleitung, damit das Wasser mit nur einer Pumpe in die Wasserspeicher oberhalb der Schule befördert werden kann. Durch einen Notüberlauf wird überschüssiges Wasser abgeleitet.

Die Deckelkonstruktion eines Tanks besteht aus 16 einzelnen Stahlbetonbalken, wobei zwei unterschiedliche Balkenquerschnitte hergestellt wurden. Die mittleren vier Balken haben eine Abmessung von 15cm x 15cm x 308cm, während die äußeren zwölf Deckelelemente eine größere Breite von 20 cm aufweisen. Dies ist möglich, da die Balken nach außen hin kürzer werden, um das kreisrunde Mauerwerk passend abzudecken.



Abbildung 7: Abgeschlossene Ostseite

Für die Tragfähigkeit der Balken wurden beide Querschnitte in der Zugzone mit zwei 8 mm Stabeisen bewehrt. Diese Bewehrung wurde zusätzlich auch in der Druckzone eingesetzt, um die Tragfähigkeit auch im Falle eines fehlerhaften Ablegens der Deckelelemente sicherzustellen. Zur Stabilisierung des Bewehrungskorbes und zur Gewährleistung der Betondeckung wurden alle 50 cm quadratische, konstruktive Bügel eingesetzt. Zudem wurden an jedem Balken zwei Haken zum Anheben mit einem Abstand von 50 cm zum Rand montiert.

## Fazit Zisternenbau

Durch die Fertigstellung dieser Zisternen ist die Schule nun unabhängig von der öffentlichen Wasserversorgung. In der Vergangenheit musste die Bildungseinrichtung während der Trockenperioden oft Wasser von der Regierung kaufen. Dank des geschaffenen Speichervolumens von knapp 50.000 Litern Regenwasser kann die Schule nun erhebliche Kosten einsparen und in andere Projekte investieren, um den Schülern ein besseres Lernumfeld zu bieten.

Im Falle eines zukünftigen erhöhten Wasserbedarfs können zusätzliche Zisternen sowohl auf der östlichen als auch auf der westlichen Seite der Schule hangaufwärts installiert werden. Es besteht auch die Möglichkeit, parallel zu den bestehenden Speichern weitere Tanks zu bauen.

Das Projekt wurde aus Sicht aller Beteiligten positiv abgeschlossen. Dank der guten Planung und Zusammenarbeit zwischen Professor Andreas Otth, den Studierenden der OTH Regensburg und der Leitung der IMLS vor und während des Projekts konnte dieses erfolgreich innerhalb der vorgegebenen Zeit fertiggestellt werden.

# Ermittlung der planerischen Grundlagen einer naturnahen Abwasserreinigung

## Vermessung

In der durchgeführten Vermessungsarbeit wurde ein kleines Nivelliergerät der Firma Leica auf einem Dreibeinstativ verwendet, um neu einzumessende Punkte höhen-technisch in das bestehende Festpunktnetz der vorherigen Projektarbeit einzuarbeiten. Die Vermessung erfolgte mittels der Technik des Vor- und Rückblicks. Zusätzlich wurde ein Laserdistanzmesser verwendet, um Distanzen zwischen Vermessungspunkten zu messen und die Kreisdurchmesser der Zisternenmauern regelmäßig zu überprüfen. Ein herkömmliches 30 m-Maßband wurde genutzt, um die Höhenpunkte auch längentechnisch zu verknüpfen.

Die Vermessungsarbeiten begannen an den Eckpunkten der Fundamente der Schule (FP7, FP8, FP9) und wurden schrittweise bis zum geplanten Grundstück für die zukünftige Pflanzenkläranlage fortgeführt. Dabei wurden auch die fehlenden Stützmauern und Treppenabgänge aufgenommen.



Abbildung 8: Luftbild mit Vermessungspunkten

## Abwasserbehandlung

Der letzte Teil des Projekts beschäftigte sich mit der Planung und Umsetzung einer nachhaltigen Abwasserbehandlungsanlage an der IMLS in Masaka, Uganda. Das Ziel des Projektes ist es, ein Bewusstsein für die Bedeutung der Abwasserbehandlung zu schaffen und alle Beteiligten

einzubeziehnen. In Uganda ist das Konzept einer naturnahen Kläranlage noch wenig verbreitet, weshalb die Einführung einer Pflanzenkläranlage vorgeschlagen wird.

Die bestehende Abwasserbehandlung an der IMLS erfolgt durch zwei separate Betonabsetzgruben, die jedoch aufgrund ihrer Nähe zum Grundwasserbrunnen und ihrem zu geringen Fassungsvermögen als kritisch bewertet werden. Testergebnisse zeigten erhöhte Konzentrationen von Nitrat und Phosphat sowie einen besorgniserregend niedrigen Sauerstoffanteil im gesammelten Abwasser.

Nachdem einige Modelle der naturnahen Abwasserreinigung verglichen wurden, kristallisierte sich ein horizontal durchströmtes Pflanzenbeet mit Schwallbesicker, als die am besten geeignete Anlage, heraus. Die vorgeschlagene Pflanzenkläranlage nutzt eine Kombination aus mechanischer Vorreinigung und biologischer Reinigung, um Abwasser zu behandeln. Dabei spielen der Bodenkörper, Mikroorganismen und Pflanzen eine zentrale Rolle. Der dringend benötigte Sauerstoff wird durch Diffusion, Konvektion und über die Pflanzen eingebracht.[5]

## Aufbau der Anlage:

Aufgrund der steilen Hanglage des Grundstücks unterhalb der Schule bietet sich die Anlage von Pflanzenbeeten in Terrassenbauweise an, um die natürliche Schwerkraft optimal zu nutzen. Dies ermöglicht eine effiziente Vorklärung des Abwassers, da Niederschlagswasser in den Bodenfilter gelangt und so dessen Belastung reduziert wird.

Zur Einfassung der Pflanzenbeete empfiehlt sich die Verwendung von Lehmziegeln. Diese sind nicht nur kostengünstig, sondern auch ein lokal verfügbarer Baustoff in Uganda. Die Mauern sollten nach oben hin verjüngt werden, um sowohl als Stütze gegen den Druck des darüberliegenden Geländes zu dienen, als auch als Überlaufkante für das Wasser vom höhergelegenen Plateau. Dies begünstigt den Sauerstoffeintrag ins Wasser und unterstützt die Reinigungsprozesse.

An den unteren und oberen Enden des Grundstücks sollten Versickerungsgräben angelegt werden. Diese dienen dazu, das gereinigte Wasser aus der Pflanzenkläranlage zu versickern und eventuell anfallendes Fremdwasser bei Starkniederschlägen oder aus der Grundstücksentwässerung der Schule zurückzuhalten. Hierbei wird ein Drainagerohr eingebaut, um eine effiziente Entwässerung zu gewährleisten.[6]

Damit das Abwasser nicht seitlich oder nach unten aus den bepflanzten Bodenfiltern austreten kann, ist eine Abdichtung notwendig. Hierfür wird Ton mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von  $k_f < 10^{-8}$  m/s gewählt, um auf den Einsatz einer Kunststoffolie verzichten zu können. In der Regel sind mindestens zwei Lagen von je 30 cm Schichtdicke erforderlich.[6]

Für eine gleichmäßige Wasserverteilung über die gesamte Breite des Beetes wird ein Verteilerkörper aus grobem Material eingerichtet, der sich bis zur Sohle des Beetes erstreckt. Dieser wird durch einen etwa 50 cm breiten Streifen an der obersten Mauer gebildet. Zu Beginn der Anlage wird ein Sammelschacht gemauert, in den das Wasser einfließt, und mit einem mechanischen Schwallbeschicker über ein Rohr an drei Stellen in den Verteilerkörper eingeleitet.[6]

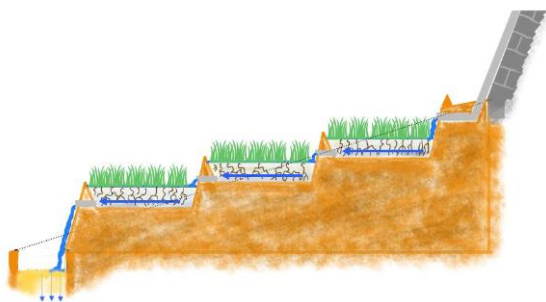


Abbildung 9: Schnitt Schema Pflanzenkläranlage

Um eine zukünftige Erweiterung der Anlage zu erleichtern, werden Rohre mit Deckeln in die Seitenwände eingemauert. Diese bieten die Möglichkeit, das System bei Bedarf anzupassen oder zu erweitern.

Der bepflanzte Bodenfilter besteht aus einer homogenen einlagigen Filterschicht mit einer Dicke von mind. 50 cm, die aus

gewaschenen Mittelsanden oder Feinkiesen mit runder Körnung besteht. Bei der Materialauswahl ist ein geeigneter Durchlässigkeitsbeiwert im Bereich von  $k_f < 10^{-4}$  m/s bis  $k_f < 10^{-3}$  m/s entscheidend. Feinere Kiese können zu einer Verstopfung der Filterschicht führen, während Grobere die Passagezeit des Abwassers verkürzen und die Reinigungsleistung verringern. Die optimale Korngröße liegt zwischen 0,1 und 3 mm, daher werden Filtermaterialien der Körnungen 0/4, 1/2 oder 2/4 empfohlen. Es ist wichtig, den Bodenfilter nicht mechanisch zu verdichten. Das Betreten sollte auf Wartungs- und Pflegezwecke beschränkt bleiben und nur mit Trittschutz erfolgen.[6]

Für die Bepflanzung des Bodenfilters sollten stark rhizombildende und tief wurzelnde Sumpfpflanzen verwendet werden. In Uganda empfehlen sich insbesondere *Cyperus Papyrus*, *Phragmites mauritanus* und verschiedene Arten von *Cyperus*. Die Bepflanzung kann ganzjährig erfolgen, sollte jedoch mit einem lokalen Fachmann abgestimmt werden. Etwa fünf Rhizome oder Setzlinge bzw. zwei Pflanzballen pro Quadratmeter sollten ausreichen.[7]

Um ein optimales Pflanzenwachstum in der ersten Saison zu gewährleisten, sind einige Pflegemaßnahmen erforderlich. Während der ersten drei Monate der Anwuchsphase sollte der bepflanzte Bodenfilter stets feucht gehalten werden, jedoch nicht dauerhaft überstaut sein, um Fäulnisprozesse zu vermeiden. Fremdpflanzen sollten entfernt werden, und je nach Pflanzendichte sollte die gesamte Bepflanzung jährlich gemäht werden. Es ist wichtig, das Fachwissen vor Ort zu vermitteln, um das Verständnis der Zusammenhänge zu fördern und das Projekt langfristig erfolgreich zu machen.[6]

## Fazit

Die Untersuchung vor Ort ergab, dass das Thema Abwasserreinigung, insbesondere das Konzept einer Pflanzenkläranlage, den Menschen in Uganda weitgehend unbekannt ist. Trotzdem gelang es, eine potenzielle Fläche für den Bau einer solchen Anlage zu identifizieren. Dies könnte einen signifikanten Beitrag zur Verbesserung der Abwasser- und Trinkwassersituation vor

Ort leisten und zu einem höheren Hygiene-standard beitragen. Darüber hinaus könnte das Projekt als Pilotprojekt für die Region dienen, um der Bevölkerung von Masaka Umweltschutzthemen näherzubringen, insbesondere in Bezug auf Abwasserbehandlung und Müllentsorgung, die vor Ort besorgniserregend waren. Die Schule hat die Möglichkeit, das Umweltbewusstsein der Kinder zu fördern. Um das Projekt langfristig erfolgreich zu machen, ist es jedoch entscheidend, das Konzept für Bau, Betrieb und Wartung der Pflanzenkläranlage in enger Zusammenarbeit mit den örtlichen Verantwortlichen zu entwickeln und deren Fachwissen bezüglich des Klimas und des Pflanzenwachstums einzubeziehen.

## Literatur

[1] CAWST. Biosand Filter Construction . Canada: Calgary Alberta, 2012.

[2] Allplan. Allplan 2023-1-5 Unicode 64-bit. 13. Juni 2023. <https://campus.allplan.com/de/download/allplan-studentenversion.html> (Zugriff am 17. Oktober 2023)

[3] Braun, und Heppner. „Möglichkeiten zur Nutzung von Niederschlagswasser in einem Land mit tropischem Klima am Beispiel Uganda; Grundlagen, Planung und Ausführung.“ Bachelorarbeit, Regensburg, 2022.

[4] Bödl, Malcher, und Marschner. „Ermittlung der planerischen Grundlagen zur Sicherstellung einer nachhaltigen siedlungswasserwirtschaftlichen Erschließung in einem Land mit tropischen Klima am Beispiel Uganda.“ Bachelorarbeit, Regensburg, 2021.

[5] Abwasserverordnung. „Verordnung über Anforderung an das Einleiten von Abwasser in Gewässer.“ September 2014.

[6] Landesportal Sachsen-Anhalt. „Pflanzenkläranlagen zur kommunalen Abwasserreinigung.“ Landesamt für Umweltschutz, Sachsen Anhalt. Mai 2007. <https://lau.sachsen->

[anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik\\_und\\_Verwaltung/MLU/LAU/Wir\\_ueber\\_uns/Publikationen/Fachinformationen/Daten/fachinfo\\_3\\_2007.pdf](https://anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LAU/Wir_ueber_uns/Publikationen/Fachinformationen/Daten/fachinfo_3_2007.pdf) (Zugriff am 5. Oktober 2023).

[7] Blumberg Engineers. Blumberg Engineers. 2023. <https://www.blumberg-engineers.com/projekte/projekte-in-uganda/> (Zugriff am 30. Oktober 2023).

## Autoren:

Jonathan Aigner  
Andreas Dirscherl  
Alexander Holm  
Maximilian Kuttenger  
Evi Lehneis  
Theresia Mandl  
Korbinian Schwab  
Hendrik Timm

## Betreuer:

Die Arbeit wurde an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg, unter Betreuung von Prof. Dipl.-Ing. Andreas Ottl, angefertigt.