

Bachelor-Arbeit an der Fakultät Bau-Wasser-Boden

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage  
für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“  
im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru**

Michel Gérard, Matr.-Nr. 50960598

Tag der Abgabe: 14. Oktober 2011

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

## **Danksagung**

Ich bedanke mich bei Professor Mennerich für die Vergabe der Bachelorarbeit.

Einen besonderen Dank an alle Beteiligten des LiWa-Projektes, die mich in Peru und Deutschland so wunderbar betreut haben und ohne die diese Arbeit nicht zustande gekommen wäre.

Ganz besonders möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden für die Unterstützung während des Studiums bedanken.

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit versichere ich, dass ich die Bachelorarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, alle Ausführungen, die anderen Schriften wörtlich oder sinngemäß entnommen wurden, kenntlich gemacht sind und die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht Bestandteil einer Studien- oder Prüfungsleistung war.

Unterschrift, Datum: \_\_\_\_\_

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

**Abstract**

In dem Dorf Quebrada Verde, im südlichen Randgebiet der Stadt Lima, Peru befindet sich eine Grundschule, in der bis zu 200 Schüler betreut werden können. Die Versorgung mit Wasser erfolgt wöchentlich durch das Anliefern aus Tankwagen. Mit diesem Wasser werden nicht nur die sanitären Anlagen betrieben, es wird darüber hinaus auch ein Nutzgarten, der durch die Schüler bewirtschaftet wird, mit diesem Wasser bewässert. Die Menge des zur Verfügung stehenden Wassers ist nicht ausreichend für diese beiden Zwecke. Um hier Abhilfe zu schaffen wird eine kleine Abwasserreinigungsanlage entworfen, um das anfallende Abwasser soweit zu klären, wie es die peruanische Norm für die Wasserqualität zur Bewässerung von Gemüsepflanzen vorschreibt. Durch die Benutzung des aufbereiteten Wassers zur Irrigation des Gartens wird auch die sanitäre Situation verbessert.

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

## Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	IV
Inhaltsverzeichnis .....	V
Tabellenverzeichnis .....	VII
Abbildungsverzeichnis .....	VII
Kurzzeichenverzeichnis .....	VIII
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Ziele und Veranlassung .....</b>	<b>2</b>
<b>3 Beschreibung des Projektgebietes.....</b>	<b>3</b>
<b>4 Eingrenzung des Projektes .....</b>	<b>5</b>
4.1 Die Schule „Santa Maria Reyna“ .....	5
4.2 Wasserverbrauch und Dargebot.....	6
4.3 Problemdarstellung .....	7
<b>5 Ermittlung der Bemessungsgrößen.....</b>	<b>8</b>
5.1 Belastungsgrößen und Einwohnerwerte .....	8
5.2 Abwassermenge und Frachten .....	9
<b>6 Verfahrensauswahl .....</b>	<b>11</b>
<b>7 Variante 1: Abwasserreinigungsanlage im Pflanzenklärbeetverfahren</b> <b>.....</b>	<b>12</b>
7.1 Aufbau der Anlage.....	12
7.2 Mechanische Vorreinigung .....	13
7.3 Biologische Reinigung mittels Pflanzenklärbeet.....	15

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

7.4 Dimensionierung der Anlage .....	20
7.5 Reinigungsleistung der Anlage.....	25
7.6 Anfallende Wartungsarbeiten .....	26
7.7 Kosten der Anlage.....	27
<b>8 Variante 2: Abwasserreinigungsanlage im Tropfkörperverfahren</b>	<b>29</b>
8.1 Aufbau der Anlage.....	29
8.2 Mechanische Vorreinigung.....	30
8.3 Biologische Reinigung mittels Tropfkörperanlage .....	30
8.4 Dimensionierung der Anlage .....	32
8.5 Reinigungsleistung der Anlage.....	34
8.6 Anfallende Wartungsarbeiten Tropfkörperanlage .....	36
8.7 Kosten der Anlage.....	37
<b>9 Bewertung und Vergleich der vorgestellten Verfahren .....</b>	<b>38</b>
<b>10 Fazit.....</b>	<b>41</b>
<b>11 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>42</b>
<b>12 Anhänge.....</b>	<b>43</b>
Anhang I : Preise .....	43
Anhang II : Protokoll Interview Schulleitung .....	47

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1 Klimadaten Lima, Peru .....	3
Tabelle 2 Zusammensetzung des häuslichen Abwassers in Peru .....	8
Tabelle 3 Abwassermengen und Frachten .....	10
Tabelle 4 Reinigungsleistung Variante Pflanzenklärbeet .....	25
Tabelle 5 Wartungsaufwand Pflanzenklärbeet .....	27
Tabelle 6 Kosten Variante Pflanzenklärbeet .....	27
Tabelle 7 Reinigungsleistung Variante Tropfkörperanlage .....	35
Tabelle 8 Wartungsaufwand Tropfkörper .....	36
Tabelle 9 Kosten Variante Tropfkörperanlage .....	37
Tabelle 10 Vergleich der Varianten .....	39

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1 Fliessschema Pflanzenkläranlage .....	12
Abbildung 2 Mehrkammerausfallgrube, Seitenansicht .....	14
Abbildung 3 Skizze Mehrkammerausfallgrube, Draufsicht .....	14
Abbildung 4 Skizze Pflanzenklärbeet Draufsicht, eigene Skizze .....	17
Abbildung 5 Skizze Pflanzenklärbeet A-A, eigene Skizze .....	18
Abbildung 6 Skizze Pflanzenklärbeet B-B, eigene Skizze .....	18
Abbildung 7 Fliessschema Tropfkörper .....	29
Abbildung 8 Tropfkörper, Seite, eigene Skizze .....	31
Abbildung 9 Tropfkörper Draufsicht, eigene Skizze .....	32

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

**Kurzzeichenverzeichnis**

EG	Europäische Gemeinschaft
LiWa	Lima Water
NGO	Non Governmental Organisation
UNI	Universidad Nacional de Ingeniería
UNITRAR	Abwasserbehandlungsanlage der UNI
WMO	World Meteorological Organisation

°C	°C	Grad Celsius
$A_f$	$m^2$	Versickerungsfläche
$A_{PK}$	$m^2$	Fläche des Pflanzenklärbeetes
$b$	$m$	Breite
$B_{EW}$	$g/EW \cdot d$	einwohnerspezifische Fracht
$b_f$	%	Feststoffanteil des Schlammes
$B_{A,BSB}$	$g/m^2 \cdot d$	BSB-Flächenbelastung
$B_{R,BSB}$	$g/m^3 \cdot d$	BSB-Raumbelastung
$BSB_5$	$g$	Biologischer Sauerstoffbedarf
$B_x$	$g/d$	Schmutzfracht
DIN		Deutsches Institut für Normung
DN		Nennweite
E		Einwohner
Einh.		Einheit
EW		Einwohnerwert
GL.		Gleichung
H	$m$	Höhe
$H_{Im}$	$m$	Höhe nach Imhoff
I	%	Gefälle

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

$k_f$	m/s	Durchlässigkeitsbeiwert
L		Liter
$L_{int}$	L/Int	Liter pro Intervall
$N_{int}$	Int/d	Anzahl Intervall pro Tag
NN		Normalnull
P		Phosphor
p.a.		pro Jahr
Q	$m^3/d$	Durchflussmenge
$Q_d$	L/d	Anfall Wasser pro Tag
$Q_E$	L/EW*d	Abwasseranfall pro Einwohnerwert
$Q_{ges}$	L/d	Abwasseranfall gesamt
r	m	Radius
s	m	Strecke
Stck.		Stück
t	m	Tiefe
TKN	g/L	Gesamtstickstoff nach Kjeldahl
USD	\$	US-Dollar
V	$m^3$	Volumen
$V_{mehr}$	$m^3$	Volumen Mehrkammerausfallgrube
$V_{TK}$	$m^3$	Volumen des Tropfkörpers
X		Flächenwert nach Imhoff
xTS		Gesamtfeststoffanfall
$\pi$		Kreiszahl Pi

## Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.

### 1 Einleitung

Lima ist mit 10 Millionen Einwohnern nicht nur eine der größten Städte der Welt sondern auch gleichzeitig die zweitgrößte Wüstenstadt nach Kairo. Allerdings muss Lima bei 13 mm Niederschlag mit weit weniger Niederschlag pro Jahr auskommen als Kairo bei 26 mm. Die Gewinnung des Trinkwassers ist abhängig von gletschergespeisten Flüssen wie dem Rio Rimac und dem Rio Chillón an denen der Wasserversorger Sedapal Trinkwassergewinnungsanlagen betreibt. Dadurch fördert er 75% des benötigten Wassers. Der Rest wird aus Grundwasserleitern gewonnen. Die Verteilung erfolgt zu 80% über ein Leitungsnetz, für die restlichen 20% ist nur eine Versorgung mit Tankwagen möglich. Diese ist teuer und gerade in den außerhalb gelegenen, ärmeren Teilen der Stadt oft die einzige Möglichkeit zur Beschaffung von Trinkwasser. Nur etwa 10% der Abwässer werden gereinigt. Lima produziert etwa 20m<sup>3</sup> Abwasser die Sekunde, welche in das Meer eingeleitet werden. Für die Metropole Lima gibt es technischen und ökologischen, aber auch ökonomischen und sozialen Handlungsbedarf, um die Bevölkerung mit sauberem Wasser zu bezahlbaren Preisen zu versorgen und Ressourcen zu schonen. [LiWa, 2011]

Aus diesem Grund haben sich deutsche und peruanische Forschungsinstitute und NGOs unter dem Namen Lima Water (LiWa) zusammengeschlossen und haben Studenten der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften die Möglichkeit gegeben, zu diesem Themenschwerpunkt an einem interdisziplinären Studentenprojekt zur Lösungsfindung der Probleme mit der Wasserversorgung in Lima, teilzunehmen.

Die Fakultät Bau-Wasser-Boden in Suderburg ist Mitglied im LiWa-Forschungsprojekt. Die Studenten haben die Möglichkeit aus bei diesem Projekt gewonnenen Daten ihre Bachelorthesis zu erarbeiten. Im Rahmen des LiWa-Projektes wird hier das nachhaltige Management des Wassers und Abwassers in Lima, einem urbanen Wachstumszentrum mit schwierigen

## **Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

Randbedingungen im Vordergrund stehen.

Auch wenn im April 2010 auf der Suderburger LiWa-Projekttagung verkündet wurde, dass im Jahr 2011 alle Stadtviertel Limas an das öffentliche Trinkwassernetz angeschlossen seien, sieht die Wirklichkeit anders aus. Gerade in armen Stadtteilen müssen die Menschen ihren Wasserbedarf aus hygienisch bedenklichen Tankwagen teuer kaufen. Ein flächendeckendes Abwasserkonzept ist nicht vorhanden und die Wasserverluste im maroden Kanalnetz sind erheblich.

## **2 Ziele und Veranlassung**

Der Besuch des Gebietes Quebrada Verde, einem Randbezirk Limas und der ortsansässigen Grundschule führte zum Entstehen dieser Arbeit. Die sanitäre Situation der Schüler war bei diesem Besuch sehr schlecht. Die Benutzung der sanitären Anlagen ist abhängig von der Verfügbarkeit des Wassers, welche zu meist nicht den Wochenbedarf deckt. Eine große Menge des Wassers wird für die Bewässerung des schuleigenen Gartens verwendet. Dieses fehlt natürlich bei dem Gebrauch der sanitären Einrichtungen. Das Benutzen der Toiletten oder das Waschen der Hände vor dem Pausenbrot ist aus Wassermangel oftmals nicht möglich. Um hier Abhilfe zu schaffen befasst sich die vorliegende Arbeit mit der Bemessung einer Kleinkläranlage für diese Schule. Ziel ist es, durch das Wiederverwenden des gereinigten Abwassers zur Bewässerung des Gartens insgesamt mehr Wasser zur Verfügung zu haben. Hierzu werden zwei Konzepte zur Abwasserreinigung erarbeitet und unter verschiedenen Kriterien wie Kosten und Effizienz betrachtet.

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

### 3 Beschreibung des Projektgebietes

Der Ort Quebrada Verde ist in den Hügeln im südöstlichen Randbezirk der 10 Millionen Metropole Lima, Peru gelegen. Er gehört zum Verwaltungsdistrikt Lima ist aber vom Wasserversorger nicht erschlossen. Das Dorf liegt etwa 120 M über NN. Die durchschnittliche Niederschlagsmenge pro Jahr beträgt 13 Millimeter und die mittlere jährliche Temperatur etwa 19°C.

**Tabelle 1 Klimadaten Lima, Peru**

Monat	Temperatur minimal [°C]	Temperatur maximal [°C]	Niederschlag [mm]
Januar	19,1	25,8	0,9
Februar	19,4	26,5	0,3
März	19,2	26,0	4,9
April	17,6	24,3	0,0
Mai	16,1	21,7	0,1
Juni	15,3	19,7	0,3
Juli	15,0	18,7	0,3
August	14,6	18,4	0,3
September	14,6	18,7	5,4
Oktober	15,2	19,9	0,2
November	16,4	21,9	0,0
Dezember	17,7	23,9	0,3

[Quelle: WMO, 28.9.11]

Die Haupteinkommensquellen der Menschen in Quebrada Verde sind Landwirtschaft und Dienstleistungen in den nahegelegenen Städten Pachacamac und Lurin. Das von etwa 2.100 Einwohnern bewohnte Dorf ist weder an die Wasserversorgung des Anbieters Sedapal noch an ein Abwassernetz angeschlossen. Die Trinkwasserversorgung erfolgt hier über einen 50 m<sup>3</sup> fassende Hochbehälter, der aus einem 300 m entfernten und sieben Meter tiefen Brunnen mehrmals täglich befüllt wird. Der Brunnen

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

versorgt über 23 zentrale Abgabestellen die etwa 450 angeschlossenen Grundstücke. Die Förderung des Wassers geschieht durch Schwerkraft. Der Brunnen wird aus dem Uferfiltrat des nahegelegenen Flusses Lurin, der Fluss selber wird aus den Gletschern und Lagunen der Anden gespeist. Daher ist die Durchflussmenge des Flusses jahreszeitlich bedingt starken Schwankungen ausgesetzt und somit auch die Kapazität des Brunnens. [Sistema Municipal de Vigilancia de Calidad del Agua, 2006]

Die Distribution des Wassers übernimmt ein, aus den Dorfbewohnern gebildetes Komitee (Comitee de las aguas). Die Versorgung geschieht straßenzugsweise, wobei in den Sommermonaten (November bis einschließlich März) die Verteilung alle 14 Tage und in den Wintermonaten (April bis einschließlich Oktober) alle drei bis vier Tage erfolgt. Das Wasser wird für jedes Grundstück in einer hauseigenen Zisterne gelagert. Eine Behandlung mit Chlor oder anderen Substanzen zur Trinkwasserreinigung findet, wenn nur durch die Endabnehmer selbst statt. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, Wasser aus Tanklastwagen zu kaufen, welche die entlegeneren Gebiete Limas versorgen. Aus diesen bezieht auch die Schule ihr Wasser.

Obwohl die meisten Häuser über sanitäre Einrichtungen verfügen, werden die anfallenden Abwässer nicht zentral behandelt, sondern auf den jeweiligen Grundstücken in unterirdischen Sickerschächten oder handgeschachteten Gruben versickert. Eine Abfuhr der anfallenden Feststoffe findet nicht statt. Ist ein Sickerschacht oder eine Grube gefüllt, wird es neu angelegt das alte Konstrukt verbleibt unbehandelt im Boden. Dies könnte auf lange Sicht zu gesundheitlichen Problemen führen, da nicht auszuschließen ist, dass sich pathogene Keime ausbreiten. Auch ist ein Verschmutzen des vorhandenen Aquifers zu befürchten wenn auf lange Zeit die unbehandelten Abwässer im Boden versickert werden.

## **Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

### **4 Eingrenzung des Projektes**

#### **4.1 Die Schule „Santa Maria Reyna“**

Die Schule „Santa Maria Reyna“ in Quebrada Verde ist eine Grundschule für die Klassen eins bis sechs. Sieben Lehrer beschulen aktuell eine Zahl von 130 Schülern im Alter von sechs bis zwölf Jahren. Die maximale Kapazität beträgt 200 Schüler. Der Unterricht findet Wochentags von acht bis dreizehn Uhr statt. In den zweimonatigen Ferien von Januar bis einschließlich Februar findet eine Sommerschule mit etwa 50 Schülern statt. [Gérard/Cismeres, 2011]

Die Schule besitzt einen eigenen 30 mal 6 m großen Gemüsegarten, in dem jede Klasse ein Feld bewirtschaftet. Der Garten ist Ergebnis eines früheren Projektes der National Agrarian University La Molina, um den Schülern das Aussehen und den Anbau verschiedener Gemüsesorten näherzubringen. In einem Wettbewerb wird jährlich ein Sachpreis an die Siegerklasse vergeben. Dieser Preis wird durch die von der nahegelegenen Zementfabrik „Cementos Lima“ gegründeten „Asociación Atocongo“, einer zur Mitigation der ökologischen und sozialen Auswirkungen ihres Betriebes gegründeten Einrichtung, für den Klassenraum bereitgestellt. Samen und natürlicher Dünger (Rinderdung) werden ebenfalls von der „Asociación Atocongo“ gestellt. Nach der Ernte wird das gesamte Gemüse entweder in der Schule oder von den Kindern zu Hause verzehrt. [Gérard/Cismeres, 2011]

## Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.

### 4.2 Wasserverbrauch und Dargebot

Die Schule bezieht ihr Trinkwasser aus drei Tanks mit einem Volumen von je 2.500 L, welche von einem Tankwagen des Wasserversorgers „Sedapal“ wöchentlich befüllt werden. Die Lieferung des Wassers erfolgt für die Schule über einen Tankwagen und nicht über den beschriebenen Brunnen, da die Kosten des Wassers von der Organisation UGEL (Unidades de Gestion Educativa Local) getragen werden. UGEL ist eine staatliche Organisation zur Betreuung von Bildungseinrichtungen und rechnet daher mit dem Versorger Sedapal ab. Nach Aussagen der Lehrer deckt dieses Wasser meistens nicht den Bedarf der ganzen Woche. Dies ist auch dem Umstand zu geschuldet, dass die Tanks oft nur zu 75% gefüllt werden. Es kommt auch vor, dass der Tankwagen gar nicht oder verspätet kommt. Dies verschärft die Wassersituation erheblich. Um die entstehende Wasserknappheit abzuf puffern haben sich die Eltern der Schüler zu einer Initiative (Asociación de Padres de Familia (APAFA)) zusammengeschlossen und kaufen von der nächstgelegenen Wasserstelle das nötige Wasser dazu, um Abhilfe zu schaffen. Die Preise variieren saisonal oder müssen jedes Mal neu verhandelt werden.

Der Garten wird nur in den Wintermonaten von Mai bis November bewirtschaftet, trotzdem ist es nötig, ihn in dieser Zeit alle zwei Tage für mindestens eine Stunde zu bewässern. Pro Stunde Bewässerung werden 900 Liter Wasser verbraucht, was einen Großteil des vorhandenen Wassers ausmacht. Ein Mehrangebot an Wasser würde eine ganzjährige Nutzung des Gartens ermöglichen. [Gérard/Cismeres, 2011]

## **Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

### **4.3 Problemdarstellung**

Wie aus den vorhergegangenen Fakten ersichtlich wird, sind eine Aufbereitung der anfallenden Abwässer und die Wiederverwendung derselben zum Zwecke der Irrigation des Schulgartens aus ökologischer Sicht sinnvoll. Durch den nachhaltigeren Umgang mit der Ressource Wasser würde die Nutzung der sanitären Einrichtungen verbessert. Dies kommt auch der Hygiene zugute.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Bemessung einer dezentralen Abwasserreinigungsanlage für die Schule „Santa Maria Reyna“, um durch das Aufbereiten den Vorrat an Wasser zu erhöhen, ohne die Bewässerung des Gartens zu vernachlässigen. Ziel ist es ein Brauchwasser zu gewinnen, welches den Vorgaben der ausschlaggebenden Norm [Norma Legales 377223, 2008] für die Qualität für Wasser zur Bewässerung von Gemüsepflanzen erfüllt. Hierfür werden zwei Varianten einer kleinen Abwasserreinigungsanlage entworfen und die Reinigungsleistungen berechnet. Dabei werden peruanische Normen, Bestimmungen und Grenzwerte, sowie auch EG-Richtlinien herangezogen, wobei die peruanischen Werte die ausschlaggebenden seien werden und die EG-Richtlinien als vergleichendes oder zusätzliches Kriterium zu sehen sind.

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

## 5 Ermittlung der Bemessungsgrößen

### 5.1 Belastungsgrößen und Einwohnerwerte

Für die Berechnungen der Belastungsgrößen werden die Verschmutzungsparameter des Prokopfanteils für häusliche Abwässer (Tabelle 2) aus der peruanischen Norm OS.090 herangezogen.

**Tabelle 2 Zusammensetzung des häuslichen Abwassers in Peru**

Parameter	Wert	Einheit
BSB <sub>5</sub> , bei 20°C	50	[g/E*d]
xTS	90	[g/E*d]
TKN	12	[g/E*d]
P	3	[g/E*d]
Coliforme Bakterien	20.000.000.000	[Bakterien/E*d]
Salmonellen sp.	10.000.000	[Bakterien/E*d]
Darm-Nematoden	40.000	[Eier/E*d]

[Quelle: Norma OS.090]

Da es sich bei dem zu bearbeitenden Objekt um eine Schule im Halbtagsbetrieb für Kinder im Alter von sechs bis zwölf Jahren handelt, werden in dieser Arbeit jeweils 10 Personen zu einem Einwohnerwert zusammengefasst. [Imhoff et al, 2009]

$$E/10 = EW \quad (GL.1)$$

EW = Einwohnerwert

E = Einwohnerzahl (hier Schüler und Lehrer)

[Imhoff et al, 2009]

## **Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

Dafür ergibt sich eine Belastung mit:

$$207 \div 10 = 20,7 \approx 21 \text{ EW}$$

Dieser Wert dient den folgenden Berechnungen als Grundlage.

### **5.2 Abwassermenge und Frachten**

Nachfolgend wird die theoretisch anfallende Abwassermenge unter der Annahme berechnet, dass die Lieferung des Wassers korrekt erfolgt (7,5 m<sup>3</sup>/Schulwoche) und das gesamte Wasser in den Kreislauf der Abwasserreinigungsanlage einfließt, d.h. die Irrigation des Gartens ausschließlich mit dem wiedergewonnenen Wasser aus der Abwasserreinigungsanlage erfolgt. Das gereinigte Abwasser ist als Trinkwasser nicht geeignet und wird hierzu nicht vorgesehen. [Gérard/Cismeres, 2011]

Aufgrund des limitierten Wasservorrates der Schule ist eine andere Berechnung hier nicht möglich. Die Berechnung erfolgt mit der maximalen Kapazität der Schule (21 EW).

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

Gemäß den Daten aus Tabelle 2 ergeben sich aus dieser Berechnung folgende Werte:

**Tabelle 3 Abwassermengen und Frachten**

Parameter	Wert	Einheit
<b>Abwasseranfall</b>		
$Q_{Ges.}$	1.500	[L/d]
$Q_E$	71,43	[L/EW*d]
<b>Frachten</b>		
BSB <sub>5</sub>	1.050	[g/d]
xTS	1.890	[g/d]
TKN	252	[g/d]
P	63	[g/d]
Coliforme Bakterien	420.000.000.000	[Bakterien/d]
Salmonellen sp.	210.000.000	[Bakterien/d]
Darm-Nematoden	840.000	[Eier/d]

[Quelle: eigene Berechnung]

Die Berechnung der Frachten erfolgte nach der Gleichung

$$B_x = B_{EW} * EW \quad (GL. 2)$$

$B_x$  = Fracht der Belastung [g/d]

$B_{EW}$  = einwohnerspezifische Fracht am Tag [g/EW\*d]

EW = Einwohnerwert

[Imhoff et al, 2009]

## Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.

### 6 Verfahrensauswahl

Da das aufbereitete Wasser vor Ort verwendet werden soll und die bestehende sanitäre Infrastruktur zwar Spülaborte, aber kein Kanalleitungsnetz um die Abwässer einer zentralen Behandlung zuzuführen vorweist, ist eine dezentrale Abwasserreinigung mittels einer Kleinkläranlage sinnvoll. Auch in Bezug auf die Größe der anfallenden Einwohnerwerte empfiehlt sich eine solche Lösung.

Die Möglichkeiten der Wasseraufbereitung durch Kleinkläranlagen sind vergleichbar mit denen großer Kläranlagen. Die biologische Behandlung kann durch unbelüftete Abwasserteiche, Filtergräben, Pflanzenbeete, Tropf- oder Tauchkörperanlagen, belüftete Festbettanlagen, Belebungsanlagen, SBR-Anlagen (diskontinuierliche Belebungsanlage) oder Belebungsanlagen mit Membranfiltration erfolgen [Heinrich, K.,2008].

Da das Wasser zu Bewässerungszwecken für einen Gemüsegarten verwendet werden soll, ist neben einer guten allgemeinen Reinigungsleistung vor allem auch auf den Abbau pathogener Keime und coliformer Bakterien zu achten. Diese können Krankheiten verursachen wenn sie über die Nahrung aufgenommen werden sollten. Die besten Ergebnisse hierbei erzielen Belebungsverfahren und Bodenfilter mit einer Maximalleistung von je 98%, gefolgt von dem Tropfkörper mit 95%. [Imhoff et al, 2009]

Eine andere Möglichkeit ist der Bau eines Abwasserteiches. Jedoch fällt für einen Abwasserteich nicht genug Abwasser an, was bei einer zu erwartenden starken Verdunstungsrate am ariden Standort den Betrieb schwer möglich macht. Eine biologische Stufe mit Belebungsanlage würde durch die anfallende Technik, deren Betrieb und Wartung hohe laufende Kosten verursachen. Deshalb wurden für den Standort zwei Varianten mit einer biologisch Reinigung mittels eines Pflanzenklärbeetes und mittels Tropfkörper gewählt.

## **Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

Diese beiden Varianten sind technisch relativ einfach gestaltet und die Wartungen können größtenteils von den eingewiesenen Betreibern selber durchgeführt werden. Auch können Teile der Bauleistungen von den Dorfbewohnern erbracht werden. Beide Varianten verbrauchen zudem wenig bis gar keinen Strom.

Nachfolgend werden diese Varianten beschrieben, dimensioniert und verglichen.

## **7 Variante 1: Abwasserreinigungsanlage im Pflanzenklärbeetverfahren**

### **7.1 Aufbau der Anlage**

Nachdem das Abwasser die mechanische Vorreinigung in Form einer Mehrkammerabsetzgrube passiert hat und dabei von sedimentierbaren Stoffen weitestgehend gereinigt wurde, durchläuft es vertikal einen bewachsenen Bodenfilter (Pflanzenklärbeet). In diesem wird das gereinigte Wasser über Drainagerohre gesammelt und in ein Speicherbehältnis geleitet. Dort verbleibt es bis es zur Bewässerung benötigt wird. Fällt genügend Wasser an kann der Garten auch ganzjährig genutzt werden.

## Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.

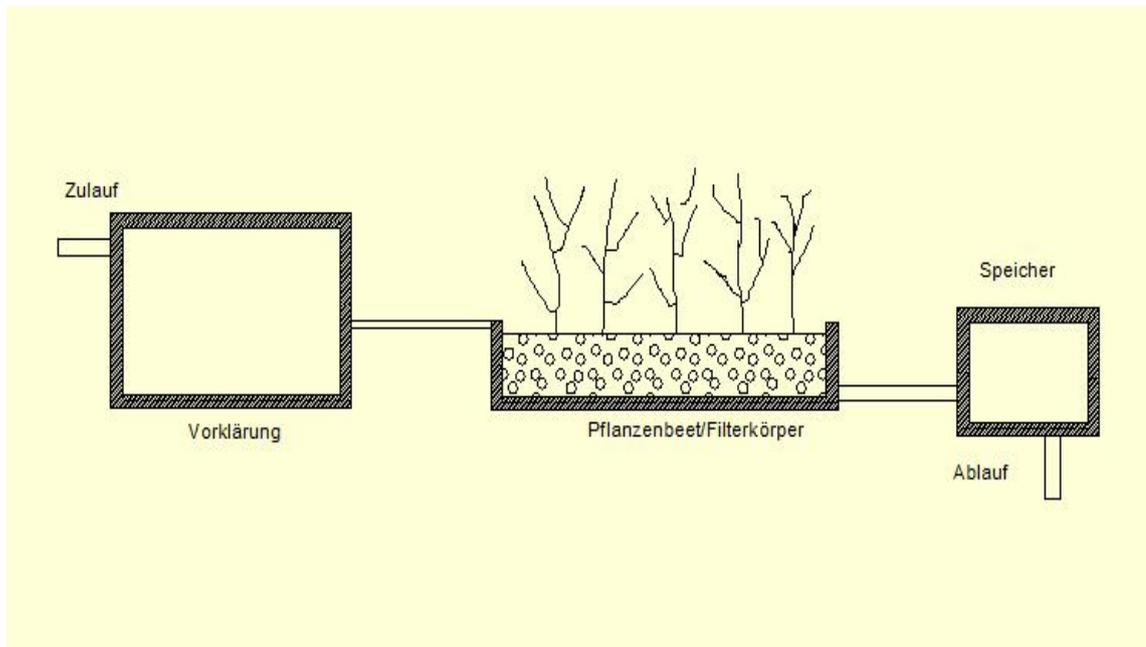


Abbildung 1 Fließschema Pflanzenkläranlage

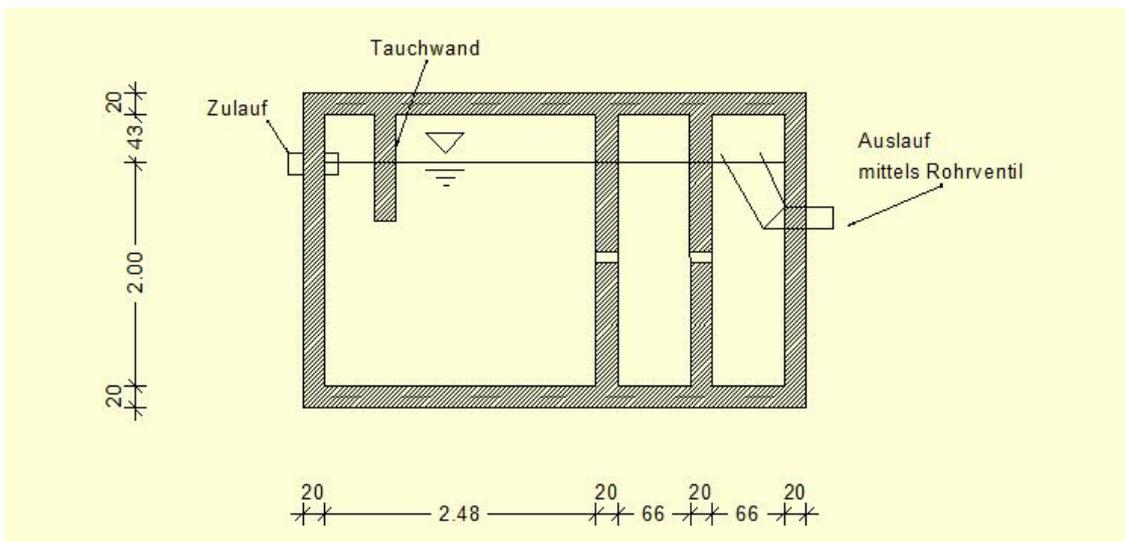
### 7.2 Mechanische Vorreinigung

Um eine effiziente biologische Reinigung zu erreichen und Verunreinigungen in der Anlage zu vermeiden, welche zu Ausfällen und einer Verminderung der Reinigungsleistung führen würden, ist vor der biologischen Stufe eine mechanische Vorreinigung sinnvoll. Hier empfiehlt sich für Kleinkläranlagen dieser Größe eine Mehrkammerausfallgrube mit einer Verweilzeit des Abwassers von 10 Tagen. [Imhoff et al.,2009]

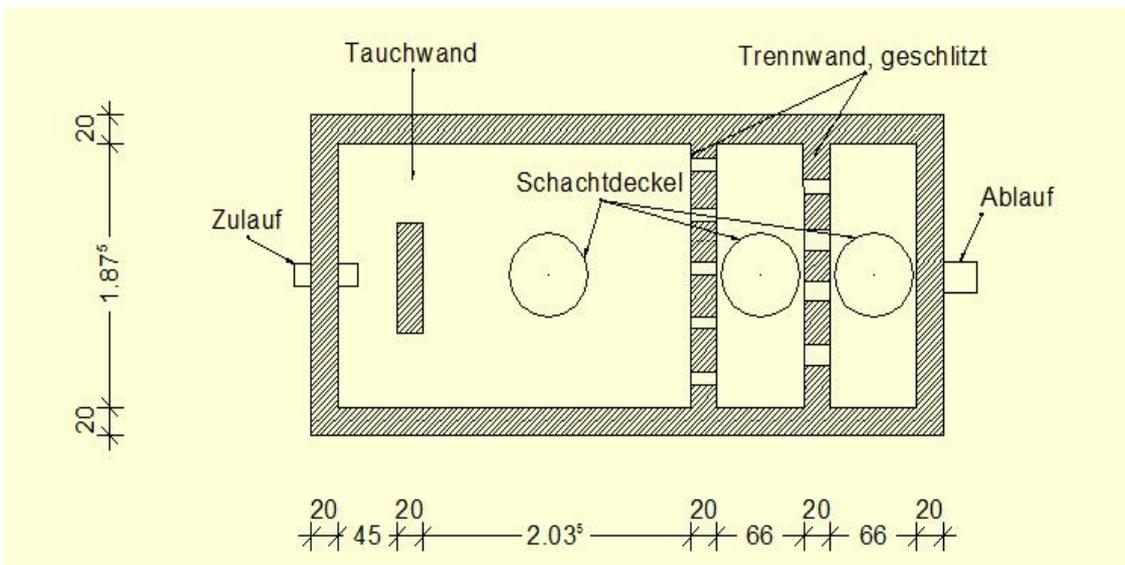
Da es in Peru üblich ist, dass Toilettenpapier nicht über das Abwassernetz, sondern über den Hausmüll zu entsorgen und auch sonst nur mit wenigen Fremdstoffen zu rechnen ist, wird am Standort auf den Bau einer Rechenanlage verzichtet, da die geringe Menge an Störstoffen bis zur Abfuhr in der Mehrkammerausfallgrube verbleiben kann. Auch ein Sandfang ist nicht erforderlich, da bei dem relativ kurzen Leitungsnetz nicht mit einem größeren Sandeintrag zu rechnen ist. Kleine Mengen Sand können bis zur Schlammabfuhr ebenfalls in der Mehrkammerausfallgrube verbleiben.

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und der Verfügbarkeit ist es sinnvoll, die Anlage nicht mit den auf dem europäischen Markt verfügbaren Fertigteilen aus Beton oder Kunststoff zu erstellen, sondern mit vor Ort hergestellten Betonteilen, welche mit einem Anstrich wasser- und chemikalienfest gemacht werden. Dies hat den Vorteil, dass die Dorfgemeinschaft einen Teil der Arbeiten in Eigenleistung erstellen kann und somit Kosten spart.



**Abbildung 2 Mehrkammerausfallgrube, Seitenansicht, eigene Skizze**



**Abbildung 3 Skizze Mehrkammerausfallgrube, Draufsicht, eigene Skizze**

### **Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

Die Mehrkammerausfallgrube hat im Vergleich mit einer Mehrkammerabsetzgrube eine längere Aufenthaltszeit des Abwassers. Der Großteil der sedimentierbaren Feststoffe setzt sich ab. Die Mehrkammerausfallgrube ist mit einer Tauchwand versehen, die Trennwände der einzelnen Kammern verfügen über Durchlassschlitze, um Kurzschlussströmungen und somit ein Aufwirbeln des Schlammes zu verhindern. 75% des gesamten Kammervolumens sind für die erste Kammer und insgesamt 25% für die zweite und dritte Kammer verwendet, um ein optimales Absetzverhalten zu gewährleisten. [Lack, W., 2006]

### **7.3 Biologische Reinigung mittels Pflanzenklärbeet**

Bei der Reinigung des Abwassers mittels eines Pflanzenklärbeetes wird das Wasser am Standort über einen bewachsenen Bodenfilter vertikal versickert. Dort finden mikrobiologische Abbauprozesse statt, welche zur Reinigung des Wassers führen. Die Funktionsweise gleicht der eines Festbettfilters. Das gereinigte Wasser wird in Drainagerohren gesammelt und abgeführt. Die klassische Bepflanzung im europäischen Raum besteht aus Schilf (*Phragmites australis*), Rohrkolben (*Typha latifolia*), Teichbinse (*Schoenoplectus lacustris*) oder auch Sumpfschwertlilie (*Iris pseudoacorus*). [Lack, W., 2006] Am Standort kann die Bepflanzung mit einheimischen Totoraschilf (*Scirpus californicus*), einer lokal angepassten und in der Versuchskläranlage UNITRAR der Universität Lima (Universidad Nacional de Ingeniería, UNI) erprobten Art erfolgen. Die Pflanzen erreichen innerhalb von drei Monaten eine Höhe von 2,5 m und sollten alle drei bis vier Monate zurückgeschnitten werden. Dies steigert den Abbau von Stickstoffen und Phosphor, welche von den Pflanzen zum Aufbau der Biomasse gebraucht werden. Die Pflanzen würden von der UNI für die Schule kostenlos

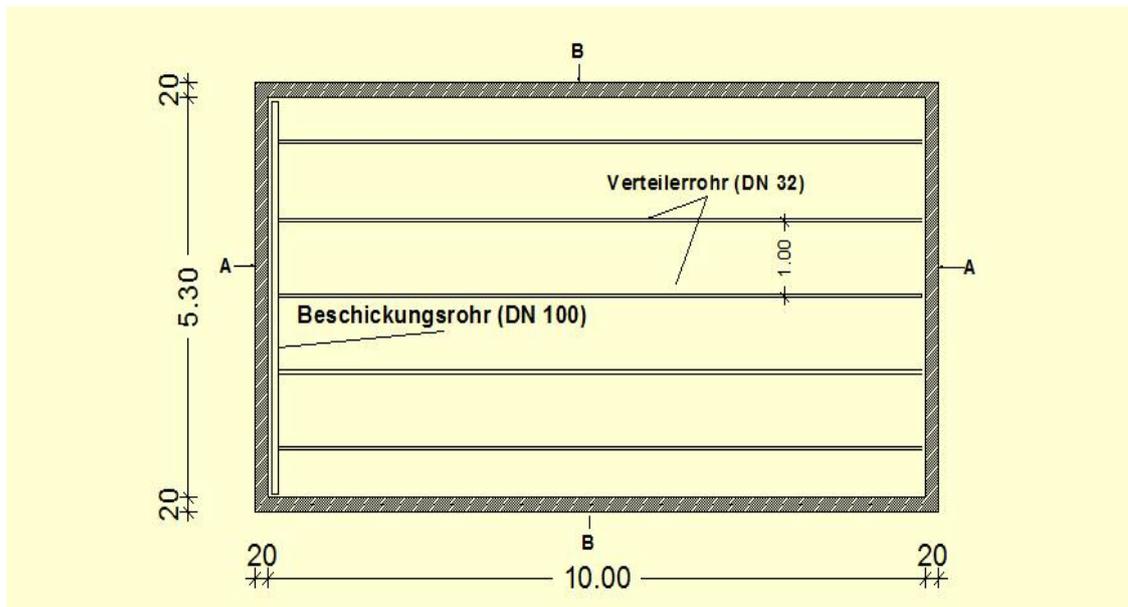
**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

bereitgestellt. Zusätzlich gewinnen die Betreiber durch das Abernten und Verarbeiten des Schilfes Rohstoff zur Herstellung von kunsthandwerklichen Gegenständen wie Körben oder Taschen. Die Vermehrung der Pflanzen geschieht über Rhizome und Wurzelableger, daher ist ein flächiger und tiefreichender Bewuchs rasch erreicht ist. [Maldonado, V., 2005]

Das vertikal durchströmte Pflanzenbeet mit einer Oberfläche von 53 m<sup>2</sup> wird mit einer Seitenlänge von 10 m und einer Breite von 5,3 m angelegt. Der Zulauf des Pflanzenklärbeetes sollte mindestens 1,5 m unterhalb des Ablaufes der Mehrkammerabsetzgrube liegen, da hier nur mit dem vorhandenen Geländegefälle gearbeitet wird, um kostenintensive und wartungsbedürftige Pumpen einzusparen.

Diese Aufteilung verspricht eine gute Verteilung des Abwassers durch die PVC-Rohre, welche über gelochte Verteilerrohre (DN 32), im Abstand von einem Meter über die gesamte Breite der Anlage verteilt (Abbildung 4) und mit einem Gefälle von 2% zum Rohrende hin verlegt werden. Die 4 mm starken Löcher sind wechselseitig im Abstand von acht bis zehn Zentimetern in die Unterseite des Rohres gebohrt. Die einzelnen Verteilerrohre werden von einem Hauptstrang (DN 100) beschickt, diese wird gefällefri verlegt. Verteiler- sowie Hauptrohre werden an ihrem Ende mit einem 90°-Winkelstück versehen, welches nach oben gerichtet und mit einem Deckel verschlossen ist. Die Winkelstücke sind Zugangspunkte für eventuelle Reinigungs- und Wartungsarbeiten. [Ambros et al, 1998 / Lack, W., 2006]

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**



**Abbildung 4 Skizze Pflanzenklärbeet Draufsicht, eigene Skizze**

Die Verteilerrohre werden überirdisch verlegt und beispielsweise auf Betonsteinen erhöht montiert (Abbildung 5). Am Anfang und am Ende der Verteilerleitungen sollten 50 cm mit Kies bedeckt werden um ein Verrutschen der Leitungen infolge der Kraft der Schwallstöße während der Beschickung zu verhindern.

Die Funktion der Pflanzen bei Pflanzenkläranlage besteht darin, durch die Durchwurzelung des Bodens, eine gute und dauerhafte Durchlässigkeit zu schaffen und die Belüftung des Filterkörpers zu verbessern. Auch bauen sie in geringem Maße Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor ab, um Biomasse aufzubauen. Die eigentliche Reinigung erfolgt über mikrobiologische Prozesse im Filterkörper [Heinrich, K., 2008]. Die effektiv wirksame Schicht des Pflanzenklärbeetes ist die Filterschicht, welche aus nichtbindigem Kiessand, mit einer Körnung von 0/2 bis 0/4 und einem  $k_f$ -Wert zwischen  $10^{-3}$  und  $10^{-4}$  m/s erstellt wird. Auf der Filterschicht liegt eine Schicht Grobkies, um das Wasser besser zu verteilen und mit Sauerstoff anzureichern.

Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.

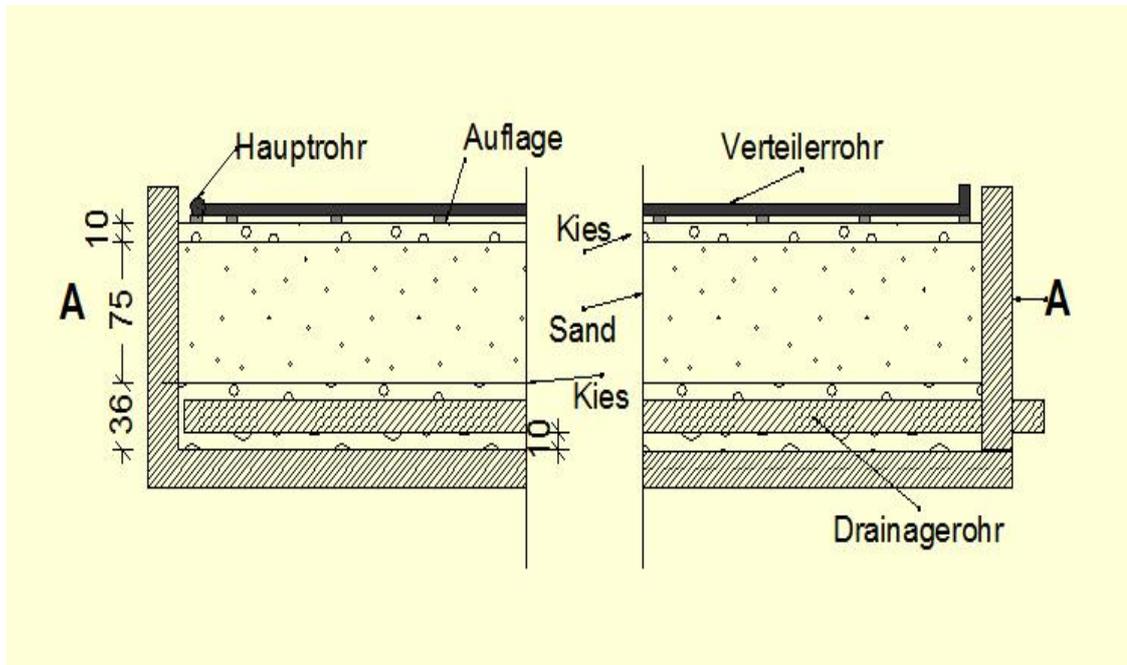


Abbildung 5 Skizze Pflanzenklärbeet A-A, eigene Skizze

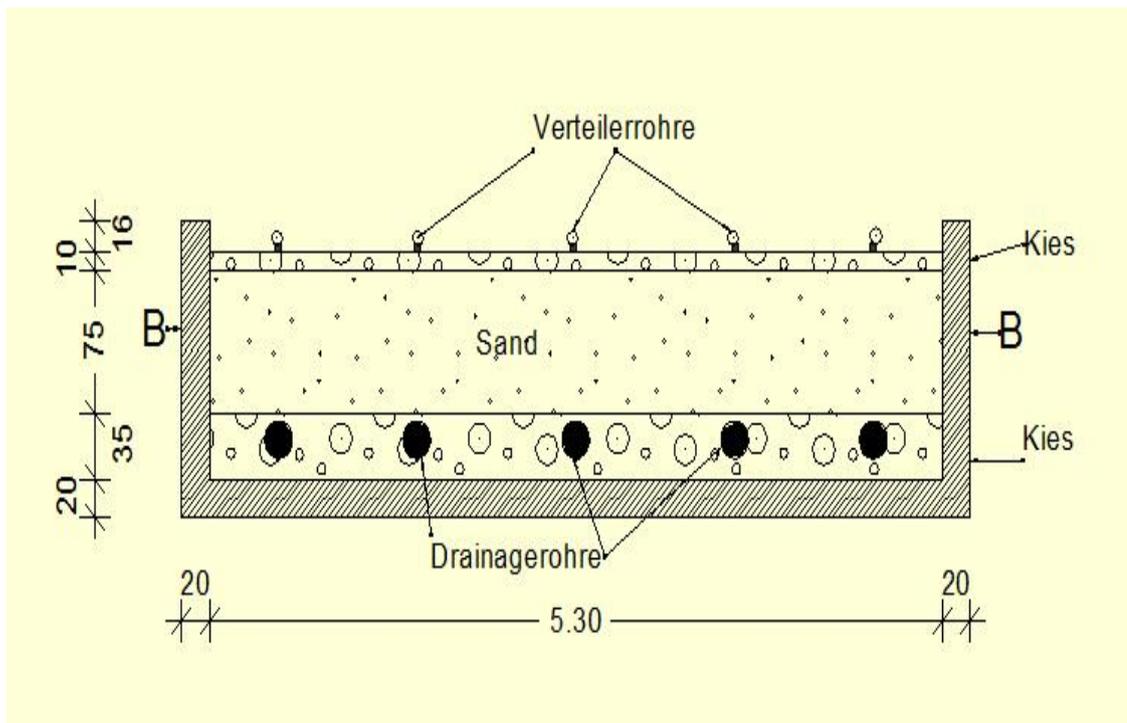


Abbildung 6 Skizze Pflanzenklärbeet B-B, eigene Skizze

### **Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

Das Wasser wird, nachdem es den Filter durchlaufen hat und dort durch mikrobiologische Prozesse gereinigt worden ist, mit Hilfe geotextilmantelter Drainagerohre (DN 100) aufgefangen und in ein Speicherbehältnis abgeführt. Unterhalb des Filtersandes befindet sich eine Schicht Feinkies, in welcher die Drainagerohre gebettet sind, um das Abfließen des Wassers zu verbessern. Unterhalb der Drainagerohre ist etwa 10 cm Raum für die Speicherung von Wasser, um im Falle einer Trockenperiode das Überleben der Pflanzen zu sichern. An der Oberfläche des Pflanzenbeetes dient Grobkies der besseren Verteilung und Belüftung des Wassers, sowie als Schutz vor Samenunkräutern. [Lack, W., 2006]

Die Beschickung des Klärbeetes erfolgt intervallweise achtmal täglich über ein Rohrventil, um die Größe des Körpers optimal zu nutzen und durch das einströmende Wasser mit Sauerstoff zu versorgen. [Lack, W., 2006] Das Rohrventil bewirkt einen Aufstau des mechanisch vorgereinigten Abwassers bis zu einem definierten Pegelstand. Nach Erreichen dieses Pegelstandes kippt das Rohr aufgrund des Eigengewichtes und des Gewichtes des eintretenden Wasser bis zum unteren Anschlag. Dadurch strömt das Wasser aus der Mehrkammerausfallgrube bis der untere Pegel erreicht ist und die dadurch definierte Wassermenge abgegeben wurde.

Die Vorteile sind neben einer einfachen Installation und geringem Wartungsaufwand auch ein stromloser Betrieb. [Lack, W., 2006]

Beim Betrieb eines ähnlich aufgebauten Bodenfilters der UNI wurde eine Evapotranspiration von minimal 27% im Dezember und maximal 54% im April festgestellt. Über das Jahr betrachtet ergibt sich ein arithmetisches Mittel von 36,83% [Maldonado, V., 2005].

Bei einer theoretisch anfallenden Abwassermenge von 1500 Litern am Tag werden etwa 900 Liter wiedergewonnen. Somit sollte ein Speicherbehältnis

## Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.

von 2.500 Litern ausreichend sein, um ein nachhaltiges Bewässerungssystem zu betreiben.

### 7.4 Dimensionierung der Anlage

Aufgrund der hohen  $BSB_5$ -Belastung wird am Standort eine Vorklärung mittels einer Mehrkammerausfallgrube gewählt. Bei dieser ist ein 50 prozentiger Abbau zu erwarten gegenüber einem 30 prozentigen Abbau bei einer kürzer durchflossenen Mehrkammerabsetzgrube. Die Mehrkammerausfallgrube wird mit  $15 \text{ m}^3$  Volumen dimensioniert um die für solche Anlagen empfohlene Durchflusszeit von 10 Tagen zu gewährleisten. [Imhoff et al, 2009]

$$V_{\text{Mehr}} = Q * d \quad (\text{GL. 3})$$

$V_{\text{Mehr}}$  = Volumen Mehrkammerausfallgrube [m<sup>3</sup>]

Q = Schmutzwasserfracht [m<sup>3</sup>/d]

d = Tage [d]

$$15 \text{ m}^3 = 1,5 \text{ m}^3/\text{d} * 10 \text{ d}$$

[Imhoff et al, 2009]

Die Abmessungen der Ausfallkammer ergeben sich aus der Aufenthaltszeit von 10 Tagen, der empfohlenen Wassertiefe von zwei Metern und dem Volumen. [Imhoff et al, 2009]

$$V_{\text{Mehr}} = H_{\text{Im}} * b * t \quad (\text{GL. 4})$$

$V_{\text{Mehr}}$  = Volumen bei 10 Tagen Aufenthalt [m<sup>3</sup>]

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

$H_{Im}$  = empfohlene Wassertiefe nach Imhoff [m]

$b$  = Länge der Ausfallgrube [m]

$t$  = Breite der Ausfallgrube [m]

[Imhoff et al, 2009]

bei einer gewählten Länge von 4 m und umgestellt nach  $t$  ergibt sich:

$$t = V_{\text{Mehr}} / (b * H_{Im})$$

$$1,875 \text{ m} = 15 \text{ m}^3 / (2 \text{ m} * 4 \text{ m})$$

Die Berechnung des Schlammanfalls der Ausfallgrube erfolgt nach den Durchschnittswerten der Schlammliste von Imhoff [Imhoff et al, 2009]:

$$\text{Schlammanfall [L / (EW * d)]} = (xTS / b_f) * (100 / 1000) \quad (\text{GL. 5})$$

$xTS$  = Feststoffanfall [g/(EW\*d)]

$b_f$  = Feststoffanteil des Schlammes [%]

[Imhoff et al, 2009]

$$(45 / 2,5) * (100/1.000) = 1,8 \quad [\text{L} / (\text{EW} * \text{d})]$$

Bei einem Schulbetrieb von 260 Tagen mit 21 EW ergibt sich daraus ein Schlammanfall von 9.828 Liter im Jahr. Da bei der Berechnung keine peruanischen Werte, sondern Richtwerte aus deutschen Erfahrungen angenommen wurden, wird der Anfall mit 10.000 Litern im Jahr angenommen.

Bei der ermittelten Größe der Ausfallgrube von 15 m<sup>3</sup> ist eine Schlammabfuhr etwa zweimal im Jahr erforderlich. Mittels eines Monitorings über eine am

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

Ende verschleißbaren Messsonde aus Plexiglas wird alle zwei Monate der Pegel des Schlammes gemessen, um die Abfuhrintervalle optimieren und ein Vermischen des Schlammes mit dem Ablauf vermeiden zu können. Eine Verunreinigung des Ablaufes mit zu vielen Schwebstoffen kann im Filterkörper zu Verstopfungen der Filterschicht führen (Soil clogging). Dies würde zu einer Verminderung der Reinigungsleistung führen und kann nur durch einen Austausch des Filterkörpers behoben werden [Lack, W., 2006].

Die Dimensionierung des Pflanzenklärbeetes erfolgt nach Imhoff mit 2,5 m<sup>2</sup> pro EW. Gegenüber einem horizontal durchströmten Pflanzenklärbeet, welches mit 10 m<sup>2</sup> pro EW berechnet wird sind hier die Baukosten erheblich geringer [Imhoff et al, 2009].

Außerdem erhöht sich hierbei die Flächenbeschickung des Pflanzenklärbeetes von 150 mm/m<sup>2</sup> auf 600 mm/m<sup>2</sup> Wasser am Tag, was bei den ariden Verhältnissen am Standort den Pflanzen zugutekommt.

Die Berechnung des Flächenbedarfes:

$$EW * X = A_{PK} \quad (GL. 6)$$

$A_{PK}$  = Fläche des Pflanzenklärbeetes [m<sup>2</sup>]

EW = Einwohnerwert

X = Flächenwert nach Imhoff [m<sup>2</sup>]

[Imhoff et al, 2009]

Daraus folgt:

$$21 * 2,5 \text{ m}^2 = 52,5 \text{ m}^2 \approx 53 \text{ m}^2$$

Wichtig ist es genügend Druck in den Verteilerrohren aufzubauen und damit etwaige Schmutzstoffe effizient ausspülen zu können und die Fläche des

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

Filters in Gänze zu beschicken. Es empfiehlt sich deshalb zusätzlich zum empfohlenen Höhenunterschied zwischen dem Auslauf der Vorreinigung und dem Pflanzenklärbeet, das Volumen der Rohrleitungen pro Beschickungsintervall zu überstauen. [Lack, W., 2006]

Das Gesamtvolumen der Rohrleitungen wird berechnet nach der Formel:

$$V = \pi * r^2 * h \quad (\text{GL. 7})$$

V = Volumen [m<sup>3</sup>]

$\pi$  = Pi

r = Radius des Innendurchmessers [m]

s = Strecke der Rohrleitung [m]

[Imhoff et al, 2009]

daraus ergibt sich für das Rohrnetz der Anlage

$$V = \pi * s_1 * r_1^2 + \pi * s_2 * r_2^2$$

s<sub>1</sub> = 5,3 m + 1,5 m = 6,8 m Länge DN 100 [m]

r<sub>1</sub> = 49,7 mm

s<sub>2</sub> = 50 m Länge DN 32 [m]

r<sub>2</sub> = 17 mm

$$\pi * 6,8 \text{ m} * (0,0497 \text{ m})^2 + \pi * 50 \text{ m} * (0,017 \text{ m})^2 = 0,098 \text{ m}^3 = 9,8 \text{ L}$$

Bei einem Beschickungsintervall von je 187,5 Litern kann von einer optimalen Nutzung der Fläche des Pflanzenklärbeetes ausgegangen werden.

$$Q_d / N_{\text{Int}} = L_{\text{Int}} \quad (\text{GL. 8})$$

Q<sub>d</sub> = Anfall Abwasser pro Tag [L/d]

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

$N_{\text{int}}$  = Anzahl der Intervalle pro Tag [Int/d]

$L_{\text{int}}$  = Liter pro Intervall [L/Int]

[Imhoff et al, 2009]

$$1500 \text{ [L/d]} / 8 \text{ [l/d]} = 187,5 \text{ [L/Int]}$$

Die Zeit in der das Wasser den Filterkörper durchläuft ist entscheidend für die Reinigungsleistung der Anlage und deren Funktion. Bestimmt wird diese Zeit über den kf-Wert. Sande mit einem kf-Wert von  $10^{-3}$  bis  $10^{-4}$  m/s werden in der Literatur für horizontal wie vertikal durchströmte Filter als Standard eingesetzt. Um den Feinanteil gering zu halten, sollte das Material gewaschen sein.

Bei einer Schichtstärke von 75 cm ergibt sich dabei je nach Art des verbauten Sandes eine Durchlaufzeit von 12,5-125 Minuten. Je länger die Aufenthaltszeit dabei ist desto größer ist die zu erwartende Reinigungsleistung.

Der kf-Wert um ein Überstauen des Bodens zu verhindern, lässt sich nach Darcy berechnen

$$Q = k_f * A_f * I \quad (\text{GL. 9})$$

$Q$  = Wassermenge [m<sup>3</sup>/s]

$A_f$  = Einsickerungsfläche [m<sup>2</sup>]

$I$  = Gefälle ( h/l ) hier :1 [m]

$k_f$  = Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]

[Imhoff et al, 2009]

Umgestellt nach  $k_f$

$$k_f = Q / A_f * I$$

ergibt sich:  $0.0000003275 = 3,275 \times 10^{-7}$  m/s

## Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.

Ein Überstauen des Bodens hätte zur Folge, dass das Wasser eines Beschickungsintervalles nicht den Filterkörper durchlaufen hätte bevor das nächste Intervall beginnt. Es drohen Faulprozesse und Verschlammungen, die zur Einschränkung oder Zerstörung des Filters führen können und einen kostspieligen Neubau zur Folge hätten [Lack, W., 2006].

### 7.5 Reinigungsleistung der Anlage

Die Reinigungsleistung der Anlage muss in zwei Schritten betrachtet werden, da die Mehrkammerausfauflgrube schon eine gesonderte Abwasserbehandlung darstellt. Auf Grund der warmen Durchschnittstemperaturen im Projektgebiet kann von einer guten bis sehr guten, ganzjährigen Funktion der Ausfauflkammer ausgegangen werden. So liegt die Abbaurrate des BSB<sub>5</sub> bei 50%, die Reduktion der Schwebstoffe bei 95% und der Abbau der Bakterien und Wurmeier bei 90%. Die anschließend geschaltete Pflanzenklärstufe erreicht eine Reinigungsleistung von 98% BSB<sub>5</sub>, 89% der Schwebstoffe, 99,9% der Phosphorbelastung und 99,89% der Bakterien sowie 33% des Kjeldahl-Stickstoffes und 100% der Wurmeier. [Imhoff et al, 2009 / Maldonado, V., 2005] Die jeweiligen Abbauleistungen sind in der folgenden Tabelle 4 dargestellt.

**Tabelle 4 Reinigungsleistung Variante Pflanzenklärbeet**

Parameter	Zulauf Rohwasser	Ablauf Mehrkammergrube	Ablauf Pflanzenklärbeet	Geforderter Wert	Einheit
BSB <sub>5</sub>	700	350	7	15	[mg/L]
xTS	1.260	63	6,93	keine Angaben	[mg/L]

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

TKN	168		112,56	keine Angaben	[mg/L]
P	42		0,042	1	[mg/L]
Coliforme Bakterien	2.800.000	280.000	308	50.000	[Bakterien/L]
Salmonellen sp.	140.000	14.000	15,4	keine Angaben	[Bakterien/L]
Nematoden	560	56	0	≤1	[Eier/L]

[Quelle: eigene Berechnung]

Die Qualität des gewonnenen Wassers übertrifft die peruanische Norm zur Qualität von Wasser zu Irrigationszwecken im Gemüsebau und kann somit bedenkenlos zu diesem Zwecke verwendet werden. [Norma Legales 377223, 2008]

Allerdings ist bei Irrigation mit diesem Wasser auf längere Sicht die Gefahr der Versalzung des Bodens auf Grund des hohen Nährstoffgehaltes gegeben. Diesem könnte man zum Beispiel durch den Einbau einer Drainage oder Durchführung eines Spülvorganges mit Wasser von höherer Reinheit im wiederkehrenden Turnus entgegenwirken.

## 7.6 Anfallende Wartungsarbeiten

Im Vergleich mit anderen Kleinkläranlagen ist der Zeitaufwand für die Wartungsarbeiten der Pflanzenkläranlage relativ hoch. In diesem Fall beschränken sich die Arbeiten auf die zweimonatliche Kontrolle des Schlammmanfalles in der Mehrkammerausfallgrube, das vierteljährliche Rückschneiden des Totoras-Schilfes und das monatlichen Befreien der Beetfläche von Unkräutern. Die geschätzten Zeitwerte finden sich in der Tabelle 5. Diese Arbeiten können nach einer Einweisung von den Betreibern

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

selbst besorgt und die gewonnen Schilfabschnitte können verarbeitet, beziehungsweise die anfallende Biomasse als Viehfutter verwendet werden.

Eine jährliche Kontrolle des Ablaufes auf Einhaltung der vorgegebenen Werte ist in Peru nicht vorgeschrieben wäre aber aus betriebstechnischen Gründen sinnvoll und sollte begleitend durch Fachkräfte durchgeführt werden. [Norma Legales 377223, 2008] Eine Möglichkeit wäre die Begleitung durch Studenten der UNI.

**Tabelle 5 Wartungsaufwand Pflanzenklärbeet**

Art der Arbeit	Zeitaufwand pro Jahr	Einheit	Kosten
Qualitätskontrolle	8	h	Labor Fachpersonal
Kontrolle Schlammpegel	6	h	Keine
Rückschnitt Totora	16	h	Keine
Beetfläche säubern	68	h	Keine

[geschätzte Werte]

## 7.7 Kosten der Anlage

Die Kosten der Leistungen und Materialien für den Bau der Anlage wurden vor Ort bei verschiedenen Lieferanten und Baufirmen angefragt. Sie sind jedoch nur als Richtwert zu verstehen, um eine Ausführung vorab preislich zu bewerten und sind in Tabelle 6 dargestellt.

**Tabelle 6 Kosten Variante Pflanzenklärbeet**

Position	Einheit	Anzahl	Preis/Einheit in USD	Preis total in USD	Eigenleistung möglich
Erdaushub	m <sup>3</sup>	73	9,50	693,5	Ja

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

Erstellen der Betonböden	m <sup>2</sup>	63	67,97	4.282,11	Nein
Erstellen der Schahlwände	m <sup>2</sup>	95	9,20	874	Nein
Beton	m <sup>3</sup>	33	80,00	2.640	Nein
Schutzanstrich für Abwasserresistenz	m <sup>2</sup>	158	9,70	1.532,6	Ja
PVC-Rohre DN100 inkl. Montage	m	10	15,50	155	Nein
PVC-Rohre DN32 inkl. Montage	m	55	15,00	825	Nein
Drainagerohre DN100 inkl. Montage	m	55	35,00	1925	Nein
Rohrventil DN100 150 L/min	Stck.	1	70,00	70	Nein
Speicherbehältnis „Rotoplast“ 2500 L	Stck.	1	580,00	580	Ja
Sand	m <sup>3</sup>	40	15,60	624	Ja
Feinkies	m <sup>3</sup>	8	15,60	124,8	Ja
Grobkies	m <sup>3</sup>	16	15,60	249,6	Ja
Pflanzen	Stck.	400	Spende der UNITRAR	Spende der UNITRAR	Ja
Schlammabfuhr Ausfaulgrube p.a.	Einh.	2	330	660	Nein
Wartung der Beetfläche p.a.	Einh.	17	0		Ja
Summe				15.235,01	

[Quelle: Preisermittlung vor Ort]

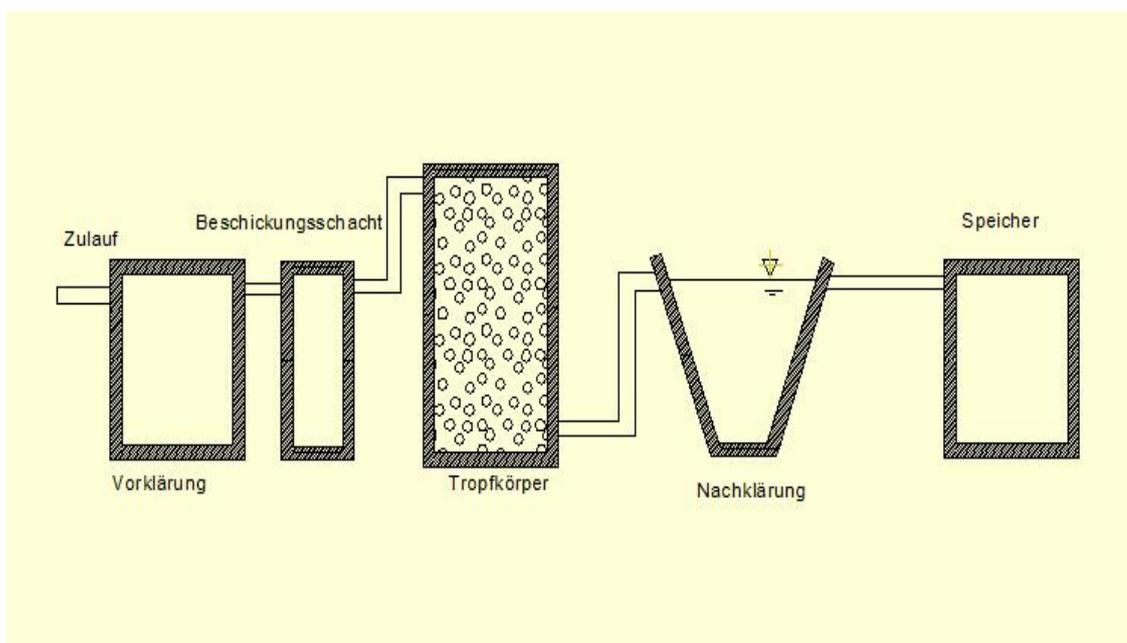
Die Kosten für eine gemäß Kapitel 5.2.1 und 5.2.2 errichtete Anlage würden dementsprechend etwa 15.300 USD betragen, wobei durch Eigenleistungen der Dorfgemeinschaft etwa 15-20% eingespart werden können.

## Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.

### 8 Variante 2: Abwasserreinigungsanlage im Tropfkörperverfahren

#### 8.1 Aufbau der Anlage

Nachdem das Abwasser die mechanische Vorreinigung in Form einer Mehrkammerausfallgrube durchlaufen hat und dabei von sedimentierbaren Schwebstoffen weitestgehend gereinigt wurde, wird es über einen Beschickungsschacht durch Verteilerrohrsystem gleichmäßig über den Tropfkörper verteilt.



**Abbildung 7 Fließschema Tropfkörper**

Das gereinigte, aber durch Schwebstoffe des abgestorbenen Biofilmes getrübe Wasser wird in einer Nachbehandlung geklärt und in ein Speicherbehältnis geleitet. Dort verbleibt es bis es zur Bewässerung benötigt wird.

## Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.

### 8.2 Mechanische Vorreinigung

Die mechanische Vorreinigung findet wie unter Kapitel 7.2 beschrieben, mittels einer Mehrkammerausfallgrube statt.

### 8.3 Biologische Reinigung mittels Tropfkörperanlage

Das vorgereinigte Abwasser wird durch ein Rohrsystem über eine Pumpe aus dem Bewässerungsschacht auf dem mit Lavabrocken gefülltem Tropfkörper verteilt (Abbildung 8). Es durchströmt den Körper vertikal und wird durch den auf dem Füllkörper aus Lavasteinen wachsenden Biofilm gereinigt. Verbaut wird Lavabruch von 40 bis 80 mm Größe, da dieser am Standort verfügbar ist. Nach dem Durchlaufen des Tropfkörpers wird das gereinigte Wasser in eine Nachklärstufe (Sedimentation) gepumpt, da sich im laufenden Betrieb dauernd Teile des biologischen Rasens, welcher auf den Lavasteinen wächst, ablösen. Diese Teile werden als Überschussschlamm mit dem geklärten Wasser abgeschwemmt. Beschickt wird die Nachklärung durch eine Pumpe mit Schwimmkörper. Der anfallende Schlamm wird durch einen Schlammabzug mittels einer elektrisch gesteuerten Pumpe von der Nachklärung in die Mehrkammerausfallgrube zurückgepumpt (Abbildung 8). Das Volumen für Tropfkörper von Kleinkläranlagen sollte mindestens 2 m<sup>3</sup> betragen [Imhoff et al, 2009].

Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.

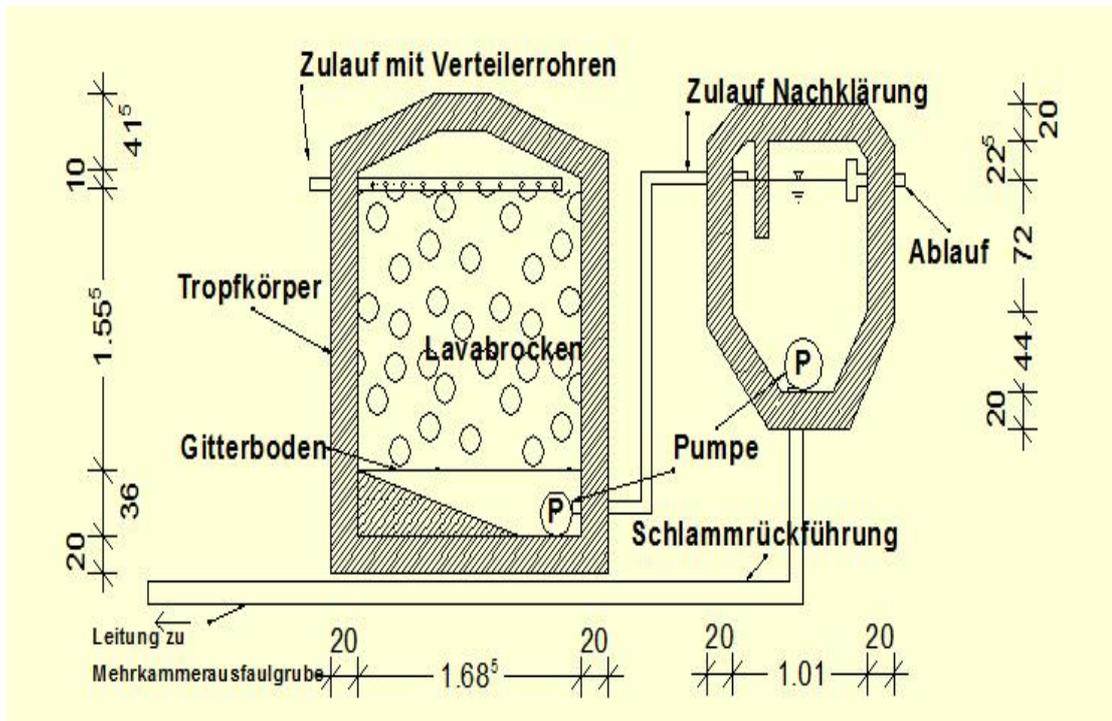


Abbildung 8 Tropfkörper, Seite, eigene Skizze

Der Tropfkörper wird über einen Beschickungsschacht, mit einer Pumpe beschickt. Dies hat den Vorteil, dass auch für Tage ohne Schulbetrieb genügend Abwasser im Beschickungsschacht gespeichert und an den Tropfkörper abgegeben werden kann. Damit werden Schäden an der Biologie verhindert.

Die Größe des Beschickungsschachtes ergibt sich aus dem Anfall des Abwassers pro Woche.

$$Q_{d7} = (Q \cdot 5) / 7 \quad (\text{GL. 10})$$

$Q_{d7}$  = täglicher Schmutzwasseranfall bei siebentägigem Betrieb [m<sup>3</sup>]

$Q$  = täglicher Schmutzwasseranfall [m<sup>3</sup>]

$$1,073 \text{ m}^3 = 1,5 \text{ m}^3 \cdot 5 / 7$$

### Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.

Der Beschickungsschacht sollte  $1,5 \text{ m}^3$  Speichervolumen aufweisen, um einen ganzwöchigen Betrieb zu gewährleisten.

Die Beschickung findet somit täglich in 5 Intervallen a 215 L statt.

Das Wasser wird über das Verteilersystem, bestehend aus einem Hauptrohr (DN150) von dem über die Fläche mehrere, kleinere gelochte Verteilerrohre (DN 32) abgehen (Abbildung 9), verteilt. Die Rohre sind nach oben offen, um Verstopfungen zu vermeiden.

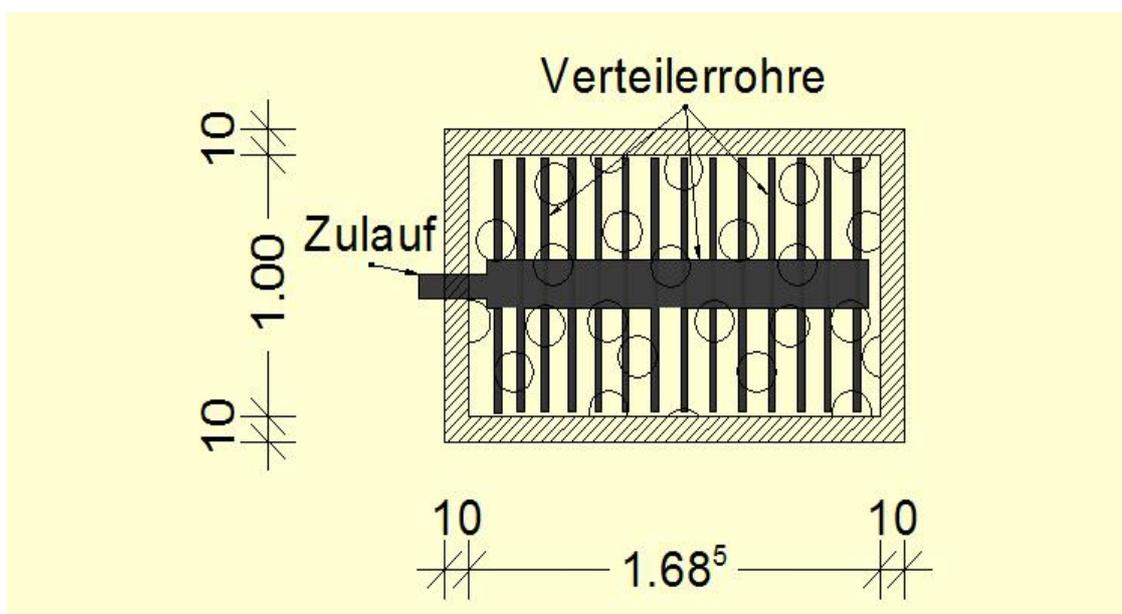


Abbildung 9 Tropfkörper Draufsicht, eigene Skizze

## 8.4 Dimensionierung der Anlage

Die Grunddaten zur Bemessung der Anlage sind dieselben, wie unter Kapitel 5.1 und Kapitel 5.2, Tabelle 3 beschrieben. Berechnet wird hier allerdings die erforderliche Leistung und Größe des Tropfkörpers als zweite biologische Reinigungsstufe.

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

Gefüllt wird der Tropfkörper mit gebrochener Lavaschlacke mit einer Größe von 40 – 80 mm. Dies entspricht einer aktiven, bewachsenen Oberfläche von ca. 90 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> Tropfkörpervolumen. Für Kleinkläranlagen sollte das Volumen des Tropfkörpers mindestens 2 m<sup>3</sup> betragen. [Imhoff et al, 2009]

Für diese Variante wird die Bemessung über die Raumbelastung BR ermittelt. [Gujer, W.,2007]

$$B_{R,BSB} = (Q * BSB_5) / V_{TK} \quad (GL. 11)$$

$B_{R,BSB}$  = Raumbelastung des Tropfkörpers [g BSB<sub>5</sub> / m<sup>3</sup> TK \* d]

Q = Durchfluss durch den TK ohne Rezirkulation [m<sup>3</sup> / d]

BSB<sub>5</sub> = Konzentration BSB5 im Zulauf [g BSB<sub>5</sub> / m<sup>3</sup>]

$V_{TK}$  = Volumen der Tropfkörperschüttung [m<sup>3</sup>]

[Gujer, W.,2007]

Bei einem gewählten Tropfkörpervolumen von 2,5 m<sup>3</sup> ergibt sich bei einer Beschickung von 1m<sup>3</sup> täglich folgende Raumbelastung

$$(1 \text{ m}^3/\text{d} * 350 \text{ g}/\text{m}^3) / 2,5 \text{ m}^3 = 140 \text{ g}_{BSB}/\text{m}^3_{TK} * \text{d}$$

Bei einer Oberfläche von 90 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> Tropfkörper ergibt sich eine BSB<sub>5</sub>-Flächenbelastung  $B_{A,BSB} = 1,55 \text{ g} / \text{m}^2 * \text{d}$

Ein Tropfkörpervolumen von 2,5 m<sup>3</sup> ist ausreichend da hier die empfohlene maximale Raumbelastung von 150 g/ m<sup>3</sup> d unterschritten wird. [Imhoff et al , 2009]

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

Der Schlammanfall in der Nachklärung durch den Abbau des Biofilmes wird wie folgt angenommen

$$\text{Schlammanfall [L / (E * d)]} = (xTS / b_f) * (100 / 1000) \quad (\text{GL. 12})$$

xTS = Feststoffanfall [g/(EW\*d)]

b<sub>f</sub> = Feststoffgehalt des Schlammes [%]

$$(25 / 4) * (100/1.000) = 0,63 \quad [\text{L / ( EW * d)}]$$

[Quelle: Imhoff et al, 2009]

Dies entspricht bei 21 EW einem täglichen Schlammanfall von etwa 13 Litern, welche in einem wiederkehrenden Turnus rückgepumpt werden müssen. Bei dem geplanten Volumen der Nachklärung ist ein 14 tägiges Rückpumpen sinnvoll, wenigstens aber einmal alle 30 Tage.

Hierdurch erhöht sich der Schlammanfall der Ausfallgrube im Vergleich zu Variante 1 um 3.380 Liter pro Jahr. Es wird daher erforderlich, das Abfuhrintervall auf dreimal pro Jahr zu erhöhen.

## 8.5 Reinigungsleistung der Anlage

Die Reinigungsleistung der Anlage muss in zwei Schritten betrachtet werden, da die Mehrkammerausfallgrube schon eine gesonderte Abwasserbehandlung darstellt. Auf Grund der warmen Durchschnittstemperaturen im Projektgebiet kann von einer guten bis sehr guten, ganzjährigen Funktion der Ausfallkammer ausgegangen werden. So liegen die Abbaurate des BSB<sub>5</sub> bei 50%, die Reduktion der Schwebstoffe bei 95% und der Abbau der Bakterien und Wurmeier bei 90%. Die anschließend geschaltet Tropfkörperanlage

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

erreicht eine Reinigungsleistung von 98% BSB<sub>5</sub>, 90% der Schwebstoffe, 98% der Bakterien sowie der Wurmeier. [Imhoff et al, 2009]

Dargestellt in Tabelle 7.

**Tabelle 7 Reinigungsleistung Variante Tropfkörperanlage**

Parameter	Zulauf Rohwasser	Ablauf Mehrkammergrube	Ablauf Nachklärung Tropfkörper	Geforderter Wert	Einheit
BSB <sub>5</sub>	700	350	7	15	[mg/L]
xTS	1.260	63	5,04	keine Angaben	[mg/L]
TKN	168			keine Angaben	[mg/L]
P	42			1	[mg/L]
Coliforme Bakterien	2.800.000	280.000	5.600	50.000	[Bakterien/L]
Salmonellen sp.	140.000	14.000	280	keine Angaben	[Bakterien/L]
Nematoden	560	56	1	≤1	[Eier/L]

(Quelle: eigene Berechnung)

Die Qualität des gewonnenen Wassers erfüllt die peruanische Norm zur Qualität von Wasser zu Irrigationszwecken im Gemüsebau und kann somit bedenkenlos zu diesem Zwecke verwendet werden. [Norma Legales 377223, 2008] Stickstoff und Phosphor werden nur in geringem Maße abgebaut. Diese Stoffe bleiben weiterhin als pflanzenverfügbare Nährstoffe im Wasser.

Auch bei diesem Verfahren besteht bei der vorgesehenen Nutzung des gereinigten Wassers zu Bewässerungszwecken die Gefahr der Versalzung

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

des Bodens, diese kann durch regelmäßiges Spülen des Bodens mit ausreichend Frischwasser behoben werden.

**8.6 Anfallende Wartungsarbeiten Tropfkörperanlage**

Die anfallenden Wartungsarbeiten der Tropfkörperanlage sind im Vergleich mit der an einer Pflanzenklärbeetanlage kostenintensiver. Allein der Austausch des Tropfkörpers alle zwei bis fünf Jahre ist ein hoher Kostenfaktor. Des Weiteren ist die Wartung der verbauten Pumpen und deren Steuerungen ein zusätzlicher, jährlich wiederkehrender Kostenpunkt. Der Einbau des Tropfkörpers und die Wartung der Pumpenanlage darf nur von fachkundigem Personal durchgeführt werden. Der Wartungsaufwand für die Mehrkammerausfallgrube ist vergleichbar mit dem der Anlage mit Pflanzenklärbeet unter Kapitel 7.6

**Tabelle 8 Wartungsaufwand Tropfkörper**

Art der Arbeit	Zeitaufwand pro Jahr	Einheit	Kosten
Qualitätskontrolle	8	h	Labor Fachpersonal
Kontrolle des Schlammpiegels	6	h	Keine
Kontrolle der Pumpen	12	h	Facharbeiterstunde
Austausch der Schüttung im biennalen Turnus	30	h	Materialien, Frachtkosten und Facharbeiterstunde

[geschätzte Werte]

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

### 8.7 Kosten der Anlage

Die Kosten der Leistungen und Materialien für den Bau der Anlage in Tabelle 9 wurden vor Ort bei verschiedenen Lieferanten und Baufirmen erfragt, können aber nur als Richtwert gesehen werden, um die Ausführung vorab preislich zu bewerten.

**Tabelle 9 Kosten Variante Tropfkörperanlage**

Position	Einheit	Anzahl	Preis/Einheit in USD	Preis total in USD	Eigenleistung möglich
Erdaushub	m <sup>3</sup>	20	9,50	190	Ja
Erstellen der Betonböden	m <sup>2</sup>	12	67,97	815,64	Nein
Erstellen der Schahlwände	m <sup>2</sup>	45	9,20	414	Nein
Beton	m <sup>3</sup>	10	80,00	800	Nein
Schutzanstrich für Abwasserresistenz	m <sup>2</sup>	57	9,70	552,9	Ja
PVC-Rohre DN100 inkl. Montage	m	10	15,50	155	Nein
PVC-Rohre DN32 inkl. Montage	m	4	15,00	60	Nein
Tauchpumpe elektronisch,	Stck.	3	2.567,63	7.702,89	Nein
Steuereinheit Tauchpumpen	Stck.	3	2.026,94	6.080,82	Nein
Rohrventil DN100 150 L/min	Stck.	1	70,00	70	Nein
Speicherbehältnis „Rotoplast“ 2500 L	Stck.	1	580,00	580	Ja
Schlammabfuhr Ausfaulgrube p.a.	Stck.	3	330	990	Nein
Lavabrocken	m <sup>3</sup>	2.5	80	200	Nein
Austausch des Tropfkörpers p.a.		0.25	350	75	Nein
Summe				18.686,25	

[Quelle: eigene Berechnungen]

### **Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

Die Kosten betragen demnach etwa 19.000 USD, wobei durch Eigenleistungen der Dorfgemeinschaft ein Anteil von 8-10% eingespart werden könnte.

## **9 Bewertung und Vergleich der vorgestellten Verfahren**

Beide vorgestellte Verfahren erreichen die geforderte Reinigungsleistung, welche die peruanische Norm für Wasser zur Bewässerung von Gemüse vorschreibt. [Norma Legales 377223, 2008]

Preislich unterscheiden sich beide Varianten von einander, wobei die Variante mit Tropfkörper etwa 4.000 USD teurer ist. Auch fallen bei der Variante mit Pflanzenklärbeet nur geringfügige, zusätzliche Kosten für Wartungen durch Fachkräfte an und der Anteil an möglichen Eigenleistungen bei der Variante mit Pflanzenklärbeet ist erheblich höher, was neben der Einsparung von Kosten auch zu einer Stärkung der Gemeinschaft im Dorf führt.

Der vergleichsweise hohe Wartungsaufwand der Pflanzenkläranlage wird dadurch kostengünstig. Ein weiterer positiver Aspekt ist das gewonnene Schilf, welches zu Kunsthandwerksprodukten in der Schule werden kann. Dies hat sowohl eine soziale als auch eine edukative Komponente.

Die Reinigungsleistungen sind vergleichbar, wobei die Variante mit Pflanzenklärbeetverfahren vor allem bei der Beseitigung von coliformen Bakterien, Salmonellen und der Nematodeneier effektiver arbeitet. Dies ist im Hinblick auf den Gebrauch des gewonnenen Wassers klar von Vorteil und spricht für die Erstellung dieser Variante.

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

**Tabelle 10 Vergleich der Varianten**

Parameter	Variante Pflanzenklärbeet	Variante Tropfkörper	Geforderter Wert	Einheit
Reinigungsleistung				
BSB <sub>5</sub>	7	7	15	[mg/L]
xTS	6,93	5,04	keine Angaben	[mg/L]
TKN	112,56		keine Angaben	[mg/L]
P	0,042		1	[mg/L]
Coliforme Bakterien	308	5.600	50.000	[Bakterien/L]
Salmonellen sp	15,4	280	keine Angaben	[Bakterien/L]
Nematoden	0	1	≤1	[Eier/L]
Preis	15.235,01	18.686,25		USD
Anteil an Eigenleistungen	15-20	8-10		%
Wartungsaufwand pro Jahr	98	56		h
Davon in Eigenleistung möglich	84	0		h

Selbstverständlich ergeben sich bauartbedingt Unterschiede. Die Anlage im Tropfkörperverfahren ist mit etwa 13 m<sup>2</sup> Grundfläche erheblich kleiner als die etwa 61 m<sup>2</sup> große Pflanzenklärbeetvariante. Allerdings sind bei der Anlage mit Tropfkörperverfahren die Pumpen und die elektronischen Steuerelemente wartungsaufwendig und störanfällig. Die Variante mit Tropfkörper erzeugt zwar geringere Baukosten, dafür sind die Kosten für Betrieb und Wartung der Pumpenanlagen höher und die Abhängigkeit von externem Fachpersonal und teurer Technik würde den Betrieb der Anlage unverhältnismäßig verkomplizieren.

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

Die Anlage mit Pflanzenklärbeet ist durch die Einfachheit des Verfahrens, dem hohen Anteil an möglichen Eigenleistungen und der geringeren Störanfälligkeit die einfacher zu erstellende und zu betreibende Variante. Bei dieser Lösung kann auf Elektrizität verzichtet werden. Das Pflanzenklärbeet kann eine eventuelle Unterlast besser überstehen und ist gegenüber einer Trockenperiode im Falle einer ausbleibenden Wasserlieferung resistenter als der Biofilm der Tropfkörperanlage. Auch ist hierbei die Einbindung der Schüler bei den Pflegemaßnahmen möglich. Auch auf Grund dessen wird hier empfohlen die Variante mit Pflanzenklärbeet zu betreiben.

Bei dem Betrieb der Anlage ist darauf zu achten, dass das Pflanzenklärbeet vor dem Verbiss der zum Teil freilaufenden Nutztiere und der Verdichtung des Bodens durch spielende Kinder geschützt wird. Es ist außerdem zu beachten, dass das aufbereitete Wasser nicht getrunken und ausschließlich zur Irrigation von Pflanzen benutzt wird. Eine Einzäunung ist daher zu empfehlen.

Da das aufbereitete Wasser noch einen Anteil an Nährstoffen besitzt, ist es wichtig darüber zu informieren, dass sich, je nach Art und Größe der angebauten Pflanzen und der Verdunstungshöhe, auf lange Sicht eine Versalzung des Bodens einstellen kann, wenn nicht geeignete Maßnahmen ergriffen werden. Zum Beispiel das regelmäßige Spülen mit sauberem Wasser wäre eine Lösung. Auch würde ein Umstellen auf eine Tropfbewässerung und das Legen einer Drainage eine effizientere Wassernutzung ermöglichen und den Boden vor Versalzungen schützen.

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

## **10 Fazit**

Es wird die Errichtung der Variante mit Pflanzenklärbeet empfohlen, da hier die erwarteten Qualitätsstandards zur Bewässerung von Gemüsepflanzen erfüllt werden und es zusätzlich zu erwarten ist, dass die sozialen Strukturen in der Dorfgemeinschaft gefestigt werden. Die Pflege der Pflanzen, sowie das Anfertigen von traditionellen Kunsthandwerksprodukten haben einen zusätzlichen, positiven edukativen Effekt. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, den Kinder den Zusammenhang zwischen Abwasser, Aufbereitung und Wiederverwertung, anhand eines anschaulichen Beispiels, näherzubringen.

Die Aufgabe den Wasservorrat der Schule für den sanitären Bereich unter Beibehaltung der Bewässerung des Schulgartens zu vergrößern, erfüllt die Anlage bei Weitem, da im Durchschnitt etwa 900 Liter Wasser pro Tag durch Wiederaufbereitung gewonnen werden können. Dadurch kann die Bewässerungsrate verdoppelt werden. Durch den Wegfall des Wasserverbrauches für den Garten spart die Schule 2.700 L Wasser pro Woche, mehr als ein Drittel des Gesamtvorrates, welches zusätzlich für die sanitären Einrichtungen genutzt werden kann. Dies steigert die Lebensqualität erheblich. Eine wiederkehrende Kontrolle der Qualität des gewonnenen Wassers ist zu empfehlen, um Krankheiten durch pathogene Keime und Bakterien unter den Kindern zu vermeiden.

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

## **11 Literaturverzeichnis**

- **Ambros / Ehrhardt / Kerschbaumer**, 1998, Pflanzenkläranlagen selbst gebaut, Leopold Stocker Verlag, Graz
- **Bahlo, K., Wach, G.**, 1993, Naturnahe Abwasserreinigung: Planung und Bau von Pflanzenkläranlagen, ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg
- **Gerard, M**, 19.5.11, Protokoll Interview Schulleitung, Anhang II
- **Gujer, W.**, 2007, Siedlungswasserwirtschaft, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg
- **Imhoff, K., Jardin, N.**, 2009, Taschenbuch der Stadtentwässerung, Oldenburg Industrieverlag München.
- Internetzugriff : World Meteorological Organisation, 28.9.11, <http://worldweather.wmo.int/029/c00108.htm>
- **Lack, W.**, 2006, Abwasserreinigung mit Pflanzen, ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg
- **Lima Water**, 2011, Nachhaltiges Management von Wasser und Abwasser in urbanen Wachstumszentren unter Bewältigung des Klimawandels – Konzepte für Lima Metropolitana (Peru). [www.lima-water.de](http://www.lima-water.de) (Zugriff 10.10.11)
- **Maldonado Yactayo, V. A.**, 2005, Uso de Wetlands para el Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales Domesticas, Universidad Nacional de Ingenieria, Lima-Peru
- **Mutschmann, J., Stimmelmayer, F.**, 1991, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH&co., Stuttgart
- **Norma Legales 377222**, Juli 2008, Lima, Peru, Servicio Nacional de Sanidad Agraria
- **Sistema Municipal de Vigilancia de Calidad del Agua**, staatlicher Bericht, ohne Verfasser, 2006

Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.

## 12 Anhänge

### Anhang I : Preise

OBRA					
PRESUPUESTO SISTEMA DE RIEGO - PLANTA DE TRATAMIENTO - PAISAJISMO					
Partida	Descripción	Und	Metrado	PU \$	Sub Total
<b>SISTEMA DE RIEGO</b>					
<b>1.01 INGENIERIA DE DETALLE</b>					
1.01.02	Plan de desvíos	glb	1.00	-	-
<b>2.01 TRABAJOS PROVISIONALES</b>					
2.01.01	Campamento Provisional de Obra	glb	1.00	-	-
2.01.02	Movilización y desmovilización	glb	1.00	1,000.00	1,000.00
2.01.03	Trazo y Replanteo	ml	9,018.00	0.25	2,254.50
<b>3.00 MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>					
3.01.01	Excavación manual	m3	4,849.20	9.25	44,855.10
3.01.02	Entibado de madera	m2	-	9.79	-
3.01.03	Refine de fondo de zanja para tubería	m2	6,145.20	1.11	6,821.17
3.01.04	Relleno compactado de zanjas con material de préstamo	m3	3,005.64	14.44	43,401.44
3.01.05	Eliminación de excedentes de corte	m3	4,849.20	6.72	32,586.62
<b>4.00 REDES DE AGUA</b>					
<b>4.01 SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA EN TERRENO NORMAL</b>					
4.01.01	Tubería PVC 90 mm - PN 10	ml		15.57	-
4.01.02	Red de agua con tubería PVC C- 10 de 1/2"	ml		13.06	-
4.01.03	Red de agua con tubería PVC C- 10 de 3/4"	ml		13.06	-
4.01.04	Red de agua con tubería PVC C- 7.5 de 1"	ml		13.15	-
4.01.05	Red de agua con tubería PVC C-7.5 de 1 1/2"	ml		13.83	-
4.01.06	Red de agua con tubería PVC C-7.5 de 2"	ml		14.67	-
4.01.07	Protección de tuberías existentes	und		10.71	-
4.01.08	Protección de cables telefónicos existentes	und		17.82	-
4.01.09	Protección de cables de baja tensión existentes	und		17.82	-
<b>4.02 EMISORES DE RIEGO</b>					
4.02.01	Aspersor rotor pop-up 1/2"	und		45.71	-
4.02.02	Aspersor rotor pop-up 3/4"	und		46.00	-
4.02.03	Rociador pop-up 1/2"	und		36.14	-
4.02.04	Válvulas de acople rápido 3/4"	und		71.56	-
<b>4.03 AUTOMATIZACIÓN DEL RIEGO</b>					
4.03.01	Controlador de riego	und		695.49	-
4.03.02	Electroválvulas solenoides de 1"	und		93.24	-
4.03.03	Electroválvulas solenoides de 1 1/2"	und		143.65	-
4.03.04	Electroválvulas solenoides de 2"	und		174.76	-
4.03.05	Válvulas de aire de 1"	und		116.74	-
4.03.06	Cajas de rectangulares para electroválvulas	und		76.28	-
<b>4.04 SISTEMA ELÉCTRICO</b>					
4.04.01	Suministro e Instalación de tubería PVC SAP 1"	ml		6.24	-
4.04.02	Suministro e Instalación de tubería PVC SAP 1 1/2"	ml		6.87	-
4.04.03	Suministro e Instalación de cable eléctrico tipo GPT Nº 16 AWG	ml		5.87	-
4.04.04	Cajas rectangulares de concreto p/reg. De líneas de control	und		76.28	-
4.04.05	Pozo de tierra	und		235.40	-
<b>4.05 EQUIPAMIENTO</b>					
4.05.01	Electrobomba de velocidad variable impulsión agua fría Q=7 lps HDT=45m Pot=7.5 HP	und		14,883.90	-
4.05.02	Electrobomba sumergible tipo inatorable para impulsión Q=5lps HDT=7m Pot= 0.75 HP	und		2,567.63	-
4.05.03	Filtros de Arena y cuarzo	und		5,250.88	-
4.05.04	Filtro de anillos	Glb		450.00	-
4.05.05	Tablero General	Glb		1,500.00	-
<b>4.06 ESTRUCTURAS CISTERNA - CUARTO DE MÁQUINAS</b>					
4.06.01	Excavación para estructuras	m3	537.00	2.81	1,508.97
4.06.02	Relleno compactado p/estructuras	m3	154.02	33.05	5,090.36
4.06.03	Eliminación de excedentes	m3	698.10	6.72	4,691.23
4.06.04	Concreto de nivelación f'c=100 kg/cm2	m3	106.56	67.97	7,242.88
4.06.05	Encofrado cara no vista	m2	422.80	9.18	3,881.30
4.06.06	Concreto F'c=280 KG/CM2	m3	80.95	83.99	6,798.99
4.06.07	Acero FY=4200 Kg/cm2	kg	11,853.82	1.16	13,750.43
4.06.08	Tarrajeo con impermeabilizante	m2			
<b>4.07 VARIOS CISTERNA</b>					
4.07.01	Suministro e instalación - Sumidero cuarto de maquina	glb		1,000.00	-
4.07.02	Suministro e instalación - Tapa de ingreso cuarto de maquina	glb		250.00	-
4.07.03	Suministro e instalación de escalera de gato	Glb		350.00	-
4.07.04	Suministro e instalación - Tapa de registro de cisterna	glb		150.00	-
4.07.05	Suministro e instalación - Ductos de ventilación 8"	glb		1,000.00	-
4.07.06	Suministro e instalación - Valvula flotadora Ø 1 1/2"	und		148.73	-

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

OBRA					
PRESUPUESTO SISTEMA DE RIEGO - PLANTA DE TRATAMIENTO - PAISAJISMO					
Partida	Descripción	Und	Metrado	PU \$	Sub Total
4.07.07	Suministro e instalación - Rebose de Ø 6"	und		120.00	-
4.07.08	Ingreso de llenado auxiliar de cisterna	glb		125.00	-
4.07.09	Suministro de agua de 2"	glb		750.00	-
4.07.10	alimentador de 3x1x35mm2 NYY	ml		25.00	-
4.07.11	suministro electrico	glb		400.00	-
4.07.12	Alumbrado y tomacorrientes cuarto de maquinas	glb		180.00	-
4.07.13	Cajas de registro 24"x24"	und		199.65	-
<b>5.00</b>	<b>PAISAJISMO</b>				
<b>5.01</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				
5.01.01	Excavación de zanja con equipo en terreno normal	m3		2.81	-
5.01.02	Perfilado de fondo de terreno	m2		0.44	-
5.01.03	Eliminación de excedentes de corte	m3		6.72	-
5.01.04	Colocación de material orgánico	m2		1.39	-
<b>5.02</b>	<b>ÁRBOLES</b>				
5.02.01	Eucalipto	und		25.52	-
<b>5.03</b>	<b>ARBUSTOS</b>				
5.03.01	Schefflera	und		8.20	-
<b>5.04</b>	<b>CUBRESUELOS - HIERBAS</b>				
5.04.01	Grass Americano	m2		6.34	-
<b>5.05</b>	<b>PISOS</b>				
5.05.01	Grass Block	m2		14.91	-
	<b>PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b>				
<b>6.00</b>	<b>CAPTACION DE DERIVACION DE COLECTOR A PLANTA DE TRATAMIENTO</b>				
<b>6.01</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				
6.01.01	Excavación para estructuras	m3	25.23	2.81	70.90
6.01.02	Relleno compactado p/estructuras	m3	14.40	33.05	475.92
6.01.03	Eliminación de excedentes de corte	m3	25.23	6.72	169.55
<b>6.02</b>	<b>CONCRETO SIMPLE</b>				
6.02.01	Concreto de nivelación f'c=100 kg/cm2	m3	0.84	67.97	57.09
6.02.02	Concreto f'c= 100 Kg/cm3 sobre fondo	m3	0.86	67.97	58.45
<b>6.03</b>	<b>CONCRETO ARMADO</b>				
6.03.01	Encofrado cara no vista	m2	39.70	9.18	364.45
6.03.02	Concreto F'c=210 KG/CM²	m3	4.82	79.81	384.68
6.03.03	Acero FY=4200 Kg/cm2	kg	85.00	1.16	98.60
6.03.04	Tarrajeo con impermeabilizante	m2	15.00	9.67	145.05
<b>7.00</b>	<b>ESTACION DE BOMBEO</b>				
<b>7.01</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				
7.01.01	Excavación para estructuras	m3	31.24	2.81	87.78
7.01.02	Relleno compactado p/estructuras	m3	17.64	33.05	583.00
7.01.03	Eliminación de excedentes de corte	m3	31.24	6.72	209.93
<b>7.02</b>	<b>CONCRETO SIMPLE</b>				
7.02.01	Concreto de nivelación f'c=100 kg/cm2	m3	1.02	67.97	69.33
7.02.02	Concreto f'c= 100 Kg/cm3 sobre fondo	m3	0.19	67.97	12.91
<b>7.03</b>	<b>CONCRETO ARMADO</b>				
7.03.01	Encofrado cara no vista	m2	53.09	9.18	487.37
7.03.02	Concreto F'c=210 KG/CM²	m3	6.16	79.81	491.63
7.03.03	Acero FY=4200 Kg/cm2	kg	20.00	1.16	23.20
7.03.04	Tarrajeo con impermeabilizante	m2	18.00	9.67	174.06
<b>8.00</b>	<b>EQUALIZADOR - CÁMARA DE AIREACION - SEDIMENTADOR Y CTO. MAQUINAS</b>				
<b>8.01</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

OBRA

**PRESUPUESTO SISTEMA DE RIEGO - PLANTA DE TRATAMIENTO - PAISAJISMO**

Partida	Descripción	Und	Metrado	PU \$	Sub Total
8.01.01	Excavación para estructuras	m3	763.14	2.81	2,144.42
8.01.02	Relleno compactado p/estructuras	m3	196.33	33.05	6,488.71
8.01.03	Eliminación de excedentes de corte	m3	763.14	6.72	5,128.30
<b>8.02</b>	<b>CONCRETO SIMPLE</b>				
8.02.01	Concreto de nivelación f'c=100 kg/cm2	m3	21.23	67.97	1,443.00
8.02.02	Concreto f'c= 100 Kg/cm3 sobre fondo	m3	7.61	67.97	517.25
<b>8.03</b>	<b>CONCRETO ARMADO</b>				
8.03.01	Encofrado cara no vista	m2	911.18	9.18	8,364.63
8.03.02	Concreto F'c=210 KG/CM²	m3	170.16	79.81	13,580.47
8.03.03	Acero FY=4200 Kg/cm2	kg	10,640.94	1.16	12,343.49
8.03.04	Tarrajeo con impermeabilizante	m2	456.52	-	-
<b>8.04</b>	<b>VARIOS</b>				
8.04.01	Tapas de registro de concreto	glb	1.00	240.00	240.00
8.04.02	Tapas plancha de acero E=3/16" 1.05X1.05m	und	1.00	290.00	290.00
8.04.03	Puerta 1.00x2.75m (Inc. Cerrajería)	und	1.00	600.00	600.00
<b>9.00</b>	<b>UNIDADES DE TRATAMIENTO</b>				
<b>9.01</b>	<b>CAPTACION DE DERIVACION DE COLECTOR A PLANTA DE TRATAMIENTO</b>				
9.01.01	Compuerta de regulación	glb	1.00	150.00	150.00
9.01.02	Tapa de concreto 0.70 m x 0.70 m	glb	1.00	250.00	250.00
9.01.03	Tubería pvc S-25 DN 200 mm	ml	57.00	28.71	1,636.47
<b>9.02</b>	<b>ESTACION DE BOMBEO</b>				
9.02.01	Electrobomba sumergible Q=3 lps HDT=9.00 m Pot=3 hp	und	2.00	2,067.40	4,134.80
9.02.02	Cesta removible de acero	glb	1.00	150.00	150.00
9.02.03	Tubería pvc S-25 DN 200 mm	ml	28.00	28.71	803.88
9.02.04	Buzón Tipo I en terreno normal hasta 3.00 m. de profundidad (C P-I)	und	1.00	2,179.19	2,179.19
9.02.05	Red de impulsión pvc C-10 Ø=2"	ml	20.00	15.47	309.40
<b>9.03</b>	<b>EQUALIZADOR</b>				
9.03.01	Salida de difusor	und	14.00	123.24	1,725.36
9.03.02	Valvula de control de difusor Ø 1"	und	3.00	49.24	147.72
9.03.03	Red de pvc Ø 2"	ml	3.50	7.37	25.80
9.03.04	Electrobomba sumergible Q=3 lps HDT=4.62 m Pot=1 hp	und	2.00	2,067.40	4,134.80
9.03.05	Tapa de inspección pozo sumidero 1.00 x 1.00	und	1.00	280.00	280.00
9.03.06	Tapa de inspección tanque equalizador 0.70 x 0.70	und	2.00	250.00	500.00
9.03.07	Tapa de inspección de difusores 1.00 x 0.50	und	3.00	240.00	720.00
9.03.08	Vertedero triangular pvc e=5 mm	glb	1.00	350.00	350.00
9.03.09	Rebose pvc Ø 3"	und	1.00	25.00	25.00
<b>9.04</b>	<b>CÁMARA DE AIREACION</b>				
9.04.01	Salida de difusor	und	112.00	123.24	13,802.88
9.04.02	Valvula de control de difusor Ø 1"	und	20.00	49.24	984.80
9.04.03	Red de FOGØ 2" línea de aire	ml	60.00	45.01	2,700.60
9.04.04	tubería pvc sap Ø 3" recirculación de lodos	ml	60.00	16.61	996.60
9.04.05	Tapa de inspección cámara de aireación 0.70 x 0.70	und	4.00	250.00	1,000.00

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

OBRA

PRESUPUESTO SISTEMA DE RIEGO - PLANTA DE TRATAMIENTO - PAISAJISMO

Partida	Descripción	Und	Medrado	PU \$	Sub Total
9.04.06	Tapa de inspección de difusores 1.50 x 0.50	und	16.00	300.00	4,800.00
9.04.07	Tapa de inspección de difusores 1.00 x 0.50	und	4.00	240.00	960.00
9.04.08	Deflector	und	2.00	250.00	500.00
<b>9.05</b>	<b>SEDIMENTADOR</b>				
9.05.01	Elevador Air Lift	und	2.00	283.63	567.26
9.05.02	Valvula compuerta Ø 1"	und	2.00	41.44	82.88
9.05.03	Red de pvc 3" c-10	ml	5.50	16.61	91.36
9.05.04	Deflector	und	2.00	250.00	500.00
9.05.05	Vertedero diente sierra + canal de 2.00 m	und	2.00	280.00	560.00
9.05.06	Tapa de inspección cámara de sedimentación 0.70 x 0.70	und	6.00	250.00	1,500.00
9.05.07	Buzón Tipo I en terreno normal hasta 1.50 m. de profundidad (C P-I)	und	1.00	1,357.08	1,357.08
<b>9.06</b>	<b>CAMARA DE CONTACTO DE CLORO</b>				
9.06.01	Pantalla de acero 5mm 1.00 x 1.50 m	und	5.00	250.00	1,250.00
9.06.02	Tapa de Inspección 2.00 x 1.00 m	und	1.00	350.00	350.00
9.06.03	bomba de diafragma dosificadora + tanque	und	1.00	2,693.50	2,693.50
9.06.04	Red de pvc Ø 1/2"	ml	3.00	34.86	104.58
<b>9.07</b>	<b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO DESAGUE TRATADO</b>				
9.07.01	Tapa de inspección 0.70 x 0.40	und	1.00	200.00	200.00
9.07.02	Tubo de ventilación 4" SCH-40	und	2.00	450.00	900.00
9.07.03	Tubería Ø 4" pvc sal - rebose de cisterna	ml	2.50	35.83	89.58
<b>9.08</b>	<b>CTO. MAQUINAS</b>				
9.08.01	Sopladores rotativos 314PCM HP=12.5	und	2.00	9,915.99	19,831.98
9.08.02	Sopladores rotativos 90PCM HP=3	und	2.00	6,908.77	13,817.54
9.08.03	Electrobomba de agua HP=2.8	und	2.00	2,429.41	4,858.81
9.08.04	Unidades de filtración mallas	und	1.00	5,041.56	5,041.56
9.08.05	Electrobomba sumergibles	glb	1.00	2,067.40	2,067.40
9.08.06	Red de pvc Ø 3"	ml	10.00	16.61	166.10
9.08.07	Red de pvc Ø 2"	ml	24.00	7.37	176.88
9.08.08	Red de impulsión Ø 2"	ml	8.00	45.01	360.08
9.08.09	Tubería de ventilación Ø 4"	ml	3.00	450.00	1,350.00
9.08.10	Tapa de Inspección 1.00 x 1.00 m	und	2.00	280.00	560.00
<b>9.09</b>	<b>SISTEMA ELECTRICO</b>				
9.09.01	Tablero alternador para sopladores	glb	1.00	2,515.61	2,515.61
9.09.02	Tablero alternador para bombas sumergibles HP = 1	glb	1.00	1,739.87	1,739.87
9.09.03	Tablero alternador para bombas de agua HP = 4	glb	1.00	2,026.94	2,026.94
9.09.04	Tablero alternador para bombas sumergibles HP = 1	glb	1.00	1,739.87	1,739.87
9.09.05	Tablero arranque directo para bombas sumergibles HP = 1	glb	1.00	1,316.92	1,316.92
9.09.06					
<b>10.00</b>	<b>TRABAJOS VARIOS</b>				
10.00.01	Mitigación de impacto ambiental	glb		400.00	-
10.00.02	Elementos de seguridad	ml		2.22	-
10.00.03	Tratamiento de botaderos	m3		0.80	-

COSTO DIRECTO 340,070.26

GASTOS GENERALES FIJOS -

GASTOS GENERALES VARIABLES -

UTILIDAD -

SUB TOTAL -

IGV -

TOTAL US\$ -

SON: U  
CON 85/100 DOLARES AMERICANOS

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

**Anhang II : Protokoll Interview Schulleitung**

Interview Direktor Maximo Julio Alarcon Cismeres und Koordinatorin Irma Gonzales Obispo geführt am 19.5.11 mit Unterstützung von David Kevin Caceres Cayao (Übersetzer)

Zur sanitären Situation in der Schule IE 6100 CPR

**Grunddaten**

Anzahl der Schüler/Lehrer aktuell: 130 Schüler, 7 Lehrer

Alter der Schüler: 6-12

Max Kapazität: 200

Schulbetrieb: 8-13 Uhr Mo-Fr

Ferien: 2 Monate (Januar Februar, dann Sommerschule mit 50 Schülern)

**Sanitäre Einrichtungen:**

Jungens: 2 Toiletten, 1 Urinal von der Länge 1,6m, 2 Handwaschbecken, eine Dusche ungenutzt

Mädels: 3 Toiletten, 2 Handwaschbecken, eine Dusche ungenutzt.

**Wasser in der Schule**

Die Schule wird einmal wöchentlich von einem Tankwagen versorgt, das Wasser wird von der Organisation UGEL bezahlt, die Lehrer unterzeichnen eine Quittung. Auf dieser stehen 10 m<sup>3</sup> Wasser, die Schule besitzt aber lediglich Tanks für 7,5 m<sup>3</sup> Wasser. Frau Gonzales teilte mit, dass selbst diese nach der Abfuhr des Tankwagens oft nicht vollständig gefüllt sind.

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

Um die wöchentlich auftretenden Engpässe zu überbrücken (meistens 2 aber zum Teil 3 Tage pro Woche) gibt es eine Elternassociation (la Asociación de Padres de Familia (APAFA)) die aus der nächstgelegenen Wasserstelle Wasser dazukaufen um diese Engpässe zu überbrücken.

Das Wasser wird neben dem Bedarf für die sanitären Einrichtungen auch benötigt um den schuleigenen Garten zu bewässern, in dem den Kindern Gemüse anbauen. Getrunken wird dieses Wasser nach Aussage von Frau Gonzales nicht.

Jede der 6 Klassen hat 2 Parzellen des 30 m x 6 m großen Gartens und die Klasse mit dem schönsten Garten und dem meisten Erträgen gewinnt einen Preis.

Der Garten wurde in einem früheren Projekt von Studenten der National Agrarian University La Molina angelegt um den Schülern den Umgang mit Gemüsepflanzen und das Bewirtschaften eines Gartens näher zu bringen. Der Preis wird von der nahegelegenen Firma Cementos Lima für den Klassenraum bereitgestellt. Am Ende wird alles Gemüse entweder in der Schule oder von den Kindern zuhause verzehrt. Samen und natürlicher Dünger (Mist) wird von der Asociación Atocongo bereitgestellt.

Der Garten wird bewässert solange Wasser vorhanden ist. Obwohl der Anbau hauptsächlich in den Herbst- und Wintermonaten von Mai bis November bewirtschaftet wird ist es auf Grund der ariden Verhältnisse in Quebrada Verde (Niederschlag >10mm/Ano) nötig zu bewässern.

Nach Möglichkeit versuchen die Lehrer alle 2 Tage den Garten für eine Stunde zu wässern. (ausgeliert 10 l in 40 Sek. = 15l/min → 900L/Durchgang. Siehe Tabelle

Liter	10	10	10
Sekunden	39.5	41.5	39.0

**Bemessung einer Abwasserreinigungsanlage für die Schule „IE 6100 Santa Maria Reyna“ im Gebiet Quebrada Verde, Lima, Peru.**

Durchschnittswert 40 Sek./10 Liter

Das verschärft die Wassersituation erheblich.