



Wasser- und Sanitärversorgung von Schulen und Gesundheitsstationen für exemplarische Fälle im ländlichen Raum Äthiopiens

DIPLOMARBEIT

vorgelegt von:

Susanne Schultealbert  
Erphostr. 8  
48145 Münster

Matrikel-Nr. 484952

Referent:  
Prof. Dr. Rainer Mohn

Korreferent:  
Prof. Dr. Joachim Gardemann

Abgabedatum:  
15.07.2011

## Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt habe und keine anderen, als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen verwendet habe. Diese Diplomarbeit habe ich in gleicher oder ähnlicher Form noch keinem anderen Prüfungsausschuss vorgelegt.

Münster, den \_\_\_\_\_

---

Susanne Schultealbert

## Inhaltsverzeichnis

<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>III</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>V</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>VI</b>
<b>1 VERANLASSUNG UND ZIELSETZUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2 GRUNDLAGEN</b> .....	<b>3</b>
2.1 ÖRTLICHE SITUATION .....	3
2.2 NUTZERGRUPPE.....	7
2.3 KRANKHEITEN .....	9
2.4 KLIMA, GEOGRAPHIE UND BODENVERHÄLTNISSE.....	11
2.4.1 Niederschlagsdaten.....	11
2.4.2 Lufttemperaturdaten .....	15
2.4.3 Relative Luftfeuchtigkeit .....	16
2.4.4 Bodenverhältnisse.....	16
2.4.5 Geographie.....	17
<b>3 SYSTEMVARIANTEN</b> .....	<b>18</b>
3.1 RAINWATER HARVESTING (RWH).....	18
3.1.1 Einführung .....	18
3.1.2 Roofwater Harvesting .....	19
3.1.3 Macrocatchments .....	25
3.1.3.1 Rockcatchments.....	25
3.1.3.2 Hillside catchments .....	28
3.1.3.3 Wasserspeicherung durch Versickerung .....	29
3.1.4 Variantenauswahl.....	31
3.2 SANITÄREINRICHTUNG .....	32
3.2.1 Einführung .....	32
3.2.2 Wiederverwendung von Urin und Fäzes .....	33
3.2.2.1 Hygienisierung von Fäkalien.....	34
3.2.3 Trenntoiletten.....	40
3.2.4 Otji-Toilette .....	42
3.2.5 Latrinen .....	44
3.2.6 Variantenauswahl.....	47
<b>4 WASSERWIRTSCHAFTLICHE BERECHNUNGEN</b> .....	<b>48</b>
4.1 WASSERBEDARF .....	48
4.1.1 Hygiene .....	48
4.1.2 Bewässerungs-Wasserbedarf .....	49
4.2 WASSERDARGEBOT.....	54
4.3 BILANZIERUNG .....	56
4.4 SPEICHER-BEMESSUNG.....	57
<b>5 KONSTRUKTIVE PLANUNG</b> .....	<b>60</b>
5.1 DACHFLÄCHE .....	60
5.2 DACHRINNEN UND FALLROHRE.....	61
5.3 FILTERSYSTEM.....	65
5.4 ZISTERNE .....	68
5.5 SANITÄRANLAGEN .....	70
5.6 ALTERNATIVEN.....	73
<b>6 KOSTENSCHÄTZUNG</b> .....	<b>74</b>
<b>7 BEWERTUNG DER ERGEBNISSE</b> .....	<b>76</b>
7.1 WASSERQUALITÄT .....	76
7.2 BETRIEBSPLANUNG .....	81

---

7.3	MÖGLICHE PROBLEME KULTURELLEN HINTERGRUNDS.....	82
<b>8</b>	<b>SCHLUSSWORT.....</b>	<b>83</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>84</b>
	<b>ANHANG.....</b>	<b>87</b>

## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: ÄTHIOPIEN, AFRIKA (WIKIMEDIA) .....	2
ABBILDUNG 2: BUNDESLÄNDER (REGIONEN) ÄTHIOPIENS, BUNDESLAND AFAR ( UN OCHA-ETHIOPIA).....	3
ABBILDUNG 3: HIDMO VOR DER HAUPTREGENZEIT, GOOGLE EARTH, AUFNAHME 20.05.2006 ..	4
ABBILDUNG 4: BLICK VOM HOCHLAND IN DEN KESSEL VON ABALA (HIDMO LINKS AUßERHALB DES BILDES) (MOHN).....	4
ABBILDUNG 5: VORHANDENE TRINKWASSERVERSORGUNG (MOHN) .....	5
ABBILDUNG 6: GRUNDSCHULE IN HIDMO (MOHN).....	6
ABBILDUNG 7: AFAR-PAAR MIT DROMEDAREN (NEHBERG TARGET) .....	8
ABBILDUNG 8: FRAU BEIM WASSERHOLEN (GARDEMANN) .....	8
ABBILDUNG 9: JAHRESNIEDERSCHLAGSENTWICKLUNG (ABALA/SHIKET).....	12
ABBILDUNG 10: GEMITTELTE REGENDATEN ABALA/SHIKET.....	12
ABBILDUNG 11: GANGLINIE MONATLICHE NIEDERSCHLAGSVERTEILUNG BEI 359,5 MM/A .....	15
ABBILDUNG 12: DURCHSCHNITTSTEMPERATUR .....	15
ABBILDUNG 13: MITTLERE RELATIVE LUFTFEUCHTIGKEIT.....	16
ABBILDUNG 14: FOTOS VON EINEM FLUSSLAUF IN DER NÄHE VON ABALA, ZWISCHEN BEIDEN AUFNAHMEN LIEGEN 13 MINUTEN (MOHAMMED ABDULKADIR).....	17
ABBILDUNG 15: PRINZIP DES WATER HARVESTING (MASSMANN, 2005, S. 5) .....	18
ABBILDUNG 16: ELEMENTE DES RWH.....	19
ABBILDUNG 17: PRINZIP DES RWH.....	19
ABBILDUNG 18: BAU EINER ZISTERNE MIT BRUCHSTEINEN (STRAUB INGENIEURE OHNE GRENZEN).....	22
ABBILDUNG 19: BAU EINER ZISTERNE MIT UNGEBRANNTEN STEINEN (NISSEN-PETERSEN, 2007, S. 13).....	22
ABBILDUNG 20: BEWEHRUNG EINES FERRO CEMENT TANKS (SKINNER).....	22
ABBILDUNG 21: OBERIRDISCHER FERRO CEMENT TANK EINER GRUNDSCHULE IN KENIA, (NISSEN-PETERSEN, 2007, S. 59).....	22
ABBILDUNG 22: UNTERIRDISCHER FERRO CEMENT TANK.....	23
ABBILDUNG 23: POLYTANKS (NISSEN-PETERSEN, 2007, S. 9).....	23
ABBILDUNG 24: ROCKCATCHMENT DAM (NISSEN-PETERSEN E. , 2007, S. 3).....	25
ABBILDUNG 25: WASSERTANK DER VIA AQUEDUCT GESPEIST WIRD .....	26
ABBILDUNG 26: ROCK CATCHMENT MIT GEWÖLBTEM DACH.....	27
ABBILDUNG 27: HILLSIDE CONDUNITS (SIEGERT 2000).....	28
ABBILDUNG 28: TRADITIONELLE 'BERKADS' IN SOMALIA (DRK).....	29

---

ABBILDUNG 29: EINFACHE BODENANALYSE NACH NISSEN-PETERSEN .....	30
ABBILDUNG 30: KREISLAUF FÄKALIEN-LEBENSMITTEL (S.A. ESREY, 2000) .....	34
ABBILDUNG 31: WEGE DER KRANKHEITSÜBERTRAGUNG DURCH FÄKALIEN.....	35
ABBILDUNG 32: GLOBALE VERTEILUNG VON WURMERKRANKUNGEN, DIE ÜBER DEN BODEN ÜBERTRAGEN WERDEN. (ARIANE KRAUSE, 2011, S. 11) .....	36
ABBILDUNG 33: SPULWÜRMER, WEIBLICHE TIERE KÖNNEN BIS ZU 40CM LANG WERDEN .....	36
ABBILDUNG 34: FRONTANSICHT DER SCHULTOILETTEN IN UKUNDA (INGENIEURE OHNE GRENZEN, AACHEN).....	41
ABBILDUNG 35: RÜCKANSICHT DER SCHULTOILETTEN IN UKUNDA (INGENIEURE OHNE GRENZEN, AACHEN).....	41
ABBILDUNG 36: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER URIN- UND WASCHWASSERLEITUNG MIT SAMMELTANK .....	41
ABBILDUNG 37: OTJI-TOILETTEN IN OTJIWARONGO (CLAYHOUSEPROJECT).....	42
ABBILDUNG 38: FUNKTIONSSCHEMA DER OTJI-TOILET .....	43
ABBILDUNG 39: EINFACHE LATRINE (FRANCOIS BRIKKE, 2003, S. 105).....	44
ABBILDUNG 40: LATRINE EINMAL VERWENDET (WIKIMEDIA) .....	45
ABBILDUNG 41: ALTERNIERENDE LATRINE (AKVOPEDIA).....	45
ABBILDUNG 42: VENTILATED PIT LATRINE VIP (FRANCOIS BRIKKE, 2003, S. 108) .....	46
ABBILDUNG 43: WASSERBEDARF FÜR HYGIENISCHE ZWECKE.....	49
ABBILDUNG 44: CLIMWAT STATIONEN ÄTHIOPIEN.....	50
ABBILDUNG 45: WASSERBEDARF BEWÄSSERUNG.....	53
ABBILDUNG 46: WASSERDARGEBOT .....	54
ABBILDUNG 47: GANGLINIE MONATLICHER SPEICHERZUFLUß.....	54
ABBILDUNG 48: SUMMENLINIE JAHRESZUFLUß.....	55
ABBILDUNG 49: SUMMENLINIE BILANZIERUNG BEDARF-DARGEBOT.....	56
ABBILDUNG 50: BILANZIERUNG.....	56
ABBILDUNG 51: SPEICHERBEWIRTSCHAFTUNGSDIAGRAMM .....	58
ABBILDUNG 52: GEWÄHLTES SPEICHERVOLUMEN.....	59
ABBILDUNG 53: SANIERUNG DER DACHFLÄCHE (STRAUB INGENIEURE OHNE GRENZEN).....	60
ABBILDUNG 54: OPTIMALE DACHRINNENAUSBILDUNG (STILL & THOMAS, 2002, S. 8).....	62
ABBILDUNG 55: RINNENHAKEN VON UNTEN AN DAS WELLBLECH GENAGELT (BROMET) .....	62
ABBILDUNG 56: DACHRINNEN FIXIERT AM LEITBLECH (NISSEN-PETERSEN, 2007, S. 24) .....	63
ABBILDUNG 57: FIRST FLUSH (RAINWATER HARVESTING) .....	65
ABBILDUNG 58: ANSAUGFILTER DER FA. WISY .....	67
ABBILDUNG 59: PRALLSOCKEL (THOMAS MARTINSON, 2007, S. 116) .....	69

---

ABBILDUNG 60: <i>DIE OTJI TOILETTE IN IHRE EINZELTEILE ZERLEGT (CLAYHOUSEPROJECT, THE OTJI-TOILET SELF BUILDER MANUEL, S. 10)</i> .....	72
ABBILDUNG 61: <i>TOILETTE OHNE WASSERLEITUNG (SUSANA)</i> .....	73
ABBILDUNG 62: <i>ZISTERNE VOR GIEBEL (THOMAS MARTINSON, 2007)</i> .....	73
ABBILDUNG 63: <i>WÄHRUNGSVERLAUF DER LETZTEN 5 JAHRE (OANDA.COM)</i> .....	74
ABBILDUNG 64: <i>WÄHRUNGSKURS BIRR/DOLLAR 03/2007</i> .....	74
ABBILDUNG 65: <i>WECHSELKURS BIRR/DOLLAR 07/2011</i> .....	74
ABBILDUNG 66: <i>WEGE DER KONTAMINATION UND BARRIEREN (VGL. THOMAS MARTINSON, 2007, S. 38)</i> .....	76
ABBILDUNG 67: <i>BEVÖLKERUNG BEIM BEGUTACHTEN VON GETROCKNETEN FÄZES (BOOT, 2007, S. 6)</i> .....	82

## Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: <i>REDUZIERUNG VON DIARRHÖE DURCH WASSER- UND SANITÄRVERSORGUNG</i> <i>(DOYLE, 2008, S. 141)</i> .....	9
TABELLE 2: <i>10 HÄUFIGSTEN ERKRANKUNGEN, KORARO CLINIC</i> .....	10
TABELLE 3: <i>ERMITTLUNG DER 10 REFERENZJAHRE</i> .....	13
TABELLE 4: <i>REFERENZJAHRE</i> .....	14
TABELLE 5: <i>VOR- UND NACHTEILE EINES WASSERTANKS</i> .....	21
TABELLE 6: <i>KOSTENÜBERSICHT ZISTERNEN UND PLASTIKTANKS</i> .....	24
TABELLE 7: <i>VOR- UND NACHTEILE DES ROCKCATCHMENT DAMS UND TANKS</i> .....	27
TABELLE 8: <i>GEHALT DER WICHTIGSTEN NÄHRSTOFFE UND ORGANISCHEM KOHLENSTOFF IN</i> <i>FÄKALIEN (S.A. ESREY, 2000, S. 46)</i> .....	33
TABELLE 9: <i>PHYSIKOCHEMISCHE UND BIOLOGISCHE FAKTOREN DIE PATHOGENE ABTÖTEN</i> <i>KÖNNEN</i> .....	37
TABELLE 10: <i>EMPFOHLENE LAGERUNGSZEITEN IM BEZUG AUF DIE TEMPERATUR (WHO, 2006,</i> <i>S. 56)</i> .....	38
TABELLE 11: <i>EMPFOHLENE LAGERUNGSZEITEN FÜR URIN (WHO, 2006, S. 56)</i> .....	39
TABELLE 12: <i>MINIMALER WASSERBEDARF ÖFFENTLICHER EINRICHTUNGEN</i> <i>(SPHEREPROJECT, 2011, S. 129)</i> .....	48
TABELLE 13: <i>MONATLICHE EVAPOTRANSPIRATION ETO</i> .....	51
TABELLE 14: <i>EFFEKTIVE NIEDERSCHLAGSHÖHE</i> .....	52
TABELLE 15: <i>SPEICHERBERECHNUNG</i> .....	57
TABELLE 16: <i>EMPFOHLENE DACHRINNEN- UND FALLROHRGRÖßEN (THOMAS MARTINSON,</i> <i>2007, S. 103)</i> .....	62

---

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
DRK	Deutsches Rotes Kreuz
FAO	Food and Agriculture Organization
lit	Liter
NGO	Non Government Organisations (Nicht Regierungsorganisationen)
RWH	Roofwater Harvesting
UNEP	United Nations Environmental Organization
UNO	United Nation Organisation
WHO	World Health Organization
Tab.	Tabelle

---

## 1 Veranlassung und Zielsetzung

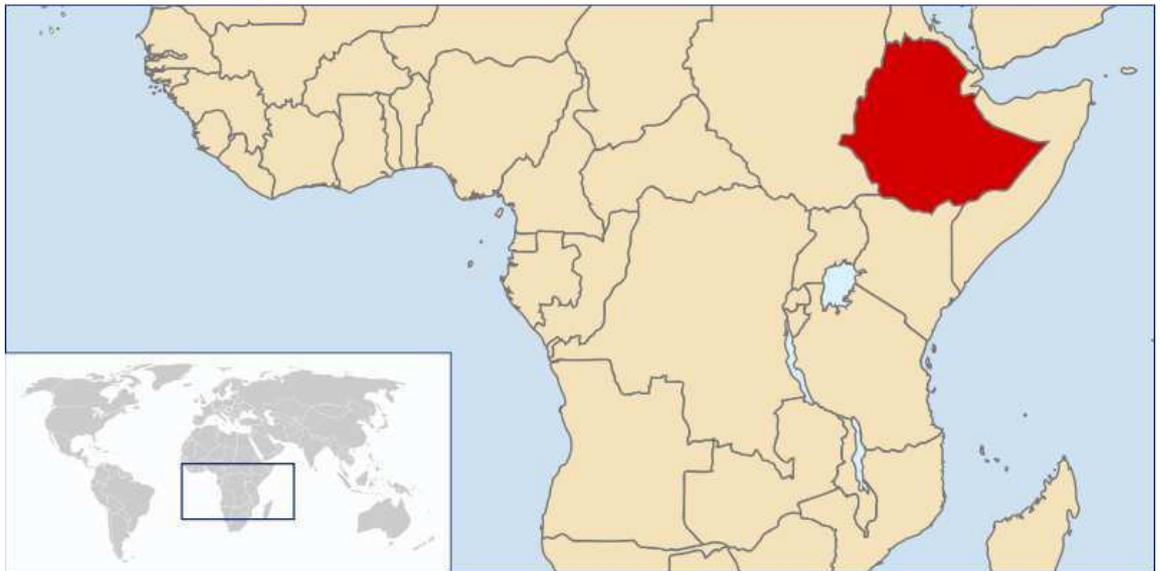
Der Binnenstaat Äthiopien, gelegen im Nordosten von Afrika (s. Abb. 1), ist in vielerlei Hinsicht einzigartig, sowohl in topographischer als auch in kultureller und politischer Hinsicht. Es ist das am höchsten gelegene Land des Kontinents mit faszinierender Geographie. Äthiopien hat eine der ältesten Hochkulturen hervorgebracht und wird von vielen Anthropologen als ‚Wiege der Menschheit‘ bezeichnet. Zudem ist es als einziges Land in Afrika nicht kolonialisiert worden. Äthiopien ist die Heimat des Kaffees, der Königin von Saba<sup>1</sup> und von Lucy<sup>2</sup>, ein Vielvölkerstaat mit über 80 Ethnien in dem beispielsweise Christen und Muslime seit Jahrhunderten friedlich miteinander leben, allerdings ist es auch durch jahrzehntelange Misswirtschaft seiner Machthaber, zu einem der ärmsten Länder der Erde geworden und wird immer wieder von langen Dürreperioden heimgesucht. Rund 70 Prozent der Bevölkerung haben nicht genügend sauberes Wasser zum Leben. In ländlichen Gebieten gibt es keine öffentliche Wasserversorgung, die Sanitärversorgung ist ebenfalls mangelhaft und medizinische Hilfe ist oft schwer erreichbar. Die vorhandenen Wasserquellen, wie Tümpel oder von Hand gegrabenen Teiche, sind verunreinigt. Es fehlt an Zäunen und Befestigungen, die das Vieh fernhalten. Immer häufiger passiert es, dass die wenigen Wasserquellen trocken fallen. Selbst in der Regenzeit führen die Flüsse nicht immer Wasser. Vorhandene Brunnen funktionieren meist nicht richtig, da sich niemand mit der Wartung auskennt. Eine davon besonders betroffene Region ist das Bundesland Afar im Nordosten des Landes. In diesem Gebiet befindet sich das Dorf ‚Hidmo‘. Mittels Geldern aus der Entwicklungshilfe hat die äthiopische Regierung dort ein Schulgebäude errichten lassen, damit die Kinder aus der Umgebung der allgemeinen Schulpflicht nachkommen können. Es wurde aber vergessen, Geld für eine Wasser- und Sanitärversorgung einzuplanen, diese wäre notwendig, da die nächste Wasserstelle 500 m weit entfernt ist. Deswegen gehen die Schüler im Moment nur vormittags zur Schule und nehmen Wasser von zu Hause mit. Schultoiletten gibt es auch nicht, die Notdurft muss im Freien verrichtet werden. Im Rahmen dieser Arbeit soll auf Vorplanungsniveau untersucht werden, inwiefern es möglich ist, Niederschlagswasser zu speichern, welches den Schülern als Wasserquelle dient und welche Sanitärsysteme dafür in Frage kommen. Zum einen sollen diese das Ausbreiten von Krankheiten verhindern und zum anderen die knappe Ressource Wasser schonen. Zusätzlich soll versucht werden, Bewässerungswasser bereit zu stel-

---

<sup>1</sup> Königin von Saba=bibl. Gestalt 10 Jh.v.Chr. besuchte König Salomon mit reichen Geschenken und stellte seine Weisheit mit Rätselfragen auf die Probe. Dabei soll sie mit ihm, Menelik, den Stammvater der äthiopischen Könige gezeugt haben. (Brockhaus, 1950, S. 346)

<sup>2</sup> Lucy=Skelett das in der Afar Region gefunden wurde, Lucy hat wahrscheinlich vor 3,2 Mio. Jahren gelebt.

len, zur Bewässerung eines schuleigenen Nutzgartens, der dazu dienen soll die Kinder in sparsamen Bewässerungsmethoden zu schulen. Der Wasserspeicher soll nur Brauchwasser zum Händewaschen und zu Bewässerungszwecken liefern. Trinkwasser soll mittels einer Rohrleitung aus der vorhandenen, 500m von der Schule entfernten, Wasserquelle bezogen werden. Die Realisierbarkeit ist aber nicht sicher und deswegen nicht Teil dieser Arbeit. Zur Auswahl sollen nur angepasste Technologien kommen, vorwiegend einfach gehalten, dem Prinzip der Kreislaufwirtschaft nahekommend.

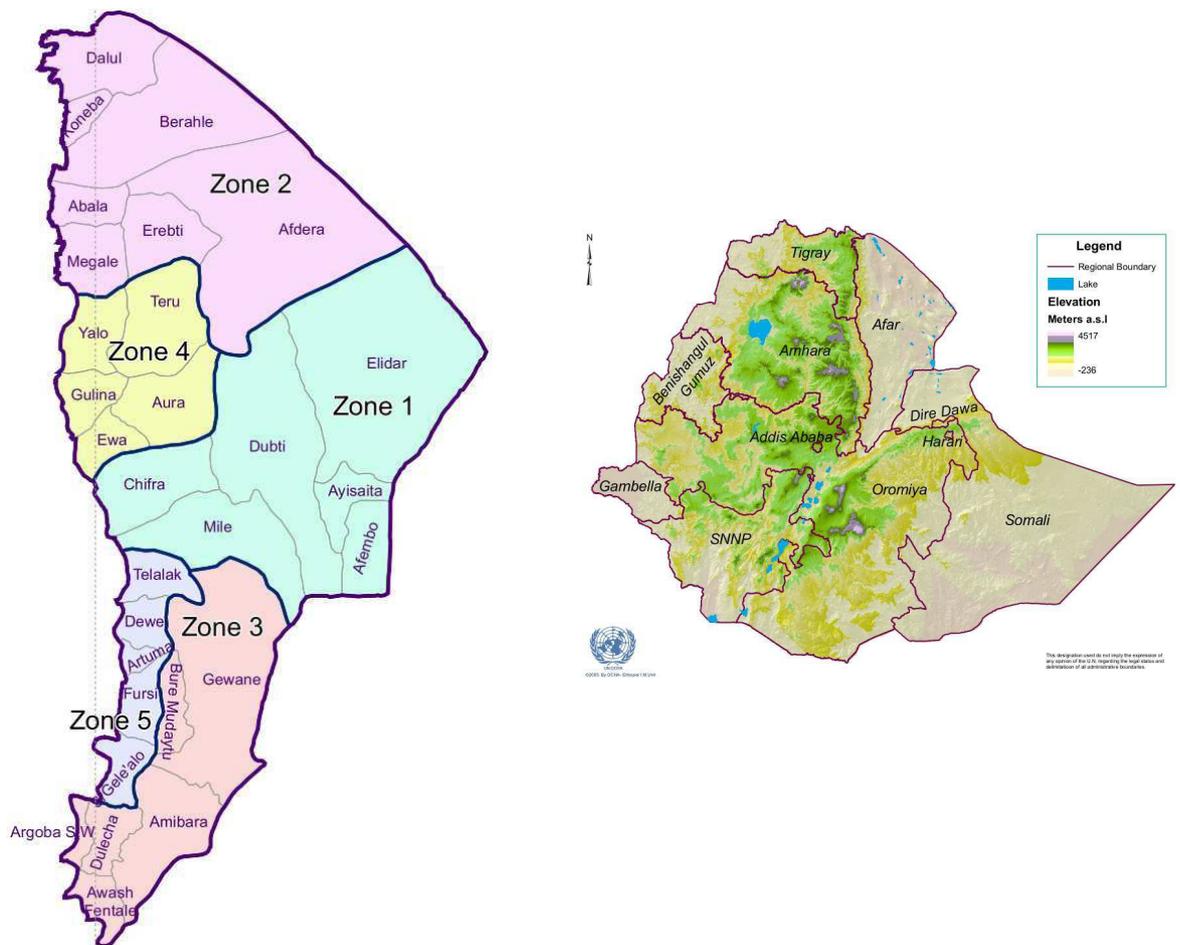


**Abbildung 1:** Äthiopien, Afrika (wikimedia)

## 2 Grundlagen

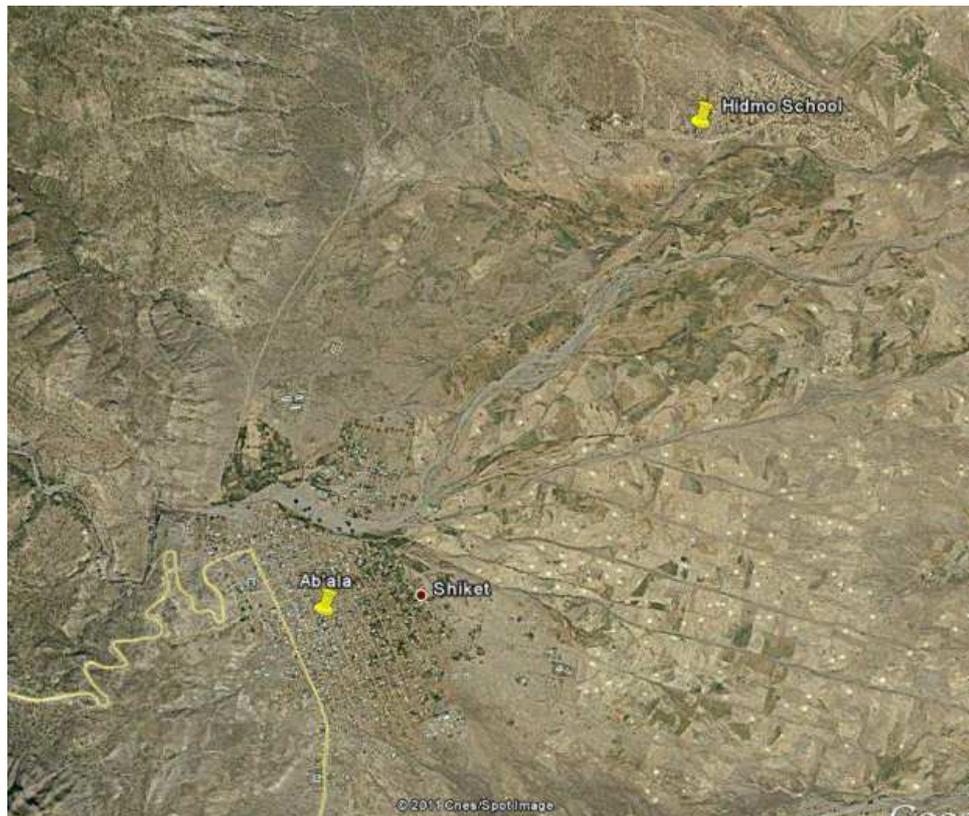
### 2.1 Örtliche Situation

Das Dorf Hidmo gehört zum Kreis (Woreda) AbAla im Bundesland Afar, Zone 2, das sich im Nordosten Äthiopiens befindet, im Norden an Eritrea, im Osten an Djibouti und im Westen an die Bundesländer Tigray und Amhara grenzt. Es befindet sich in der Riftzone des Ostafrikanischen Grabens (East African Rift Valley), Teil des Großen Afrikanischen Grabenbruchs (Great Rift Valley). Im Afar Dreieck lässt dieser als Äthiopischer Graben das Hochland von Abessinien von über 2000müNN sukzessive auf unter Meeresniveau (120muNN) abfallen, der Danakil Depression (Danakil Wüste). Das Dorf Hidmo liegt in der Bruchkante auf ~1440müNN und ist ca. 3 km von der Kreisstadt AbAla entfernt. (s. Abb. 3). Die nächst größere Stadt ist Mekele mit ca. 200.000 Einwohnern auf einer Höhe von 2000müNN, ca. 35 km nordwestlich im Bundesland Tigray.



**Abbildung 2:** Bundesländer (Regionen) Äthiopiens, Bundesland Afar ( UN OCHA-Ethiopia)

Eine Infrastruktur wie man sie in Europa kennt, ist nicht vorhanden. Die Menschen leben in einfachen Hütten ohne Strom, ohne Kraftfahrzeuge, ohne ausreichende Sanitär- und Wasserversorgung und ohne ausreichende medizinische Versorgung. Mittlerweile gibt es eine asphaltierte Straße zwischen Mekelle Flughafen und AbAla, die Straße von AbAla nach Hidmo ist jedoch unbefestigt.



**Abbildung 3:** Hidmo vor der Hauptregenzeit, Google Earth, Aufnahme 20.05.2006



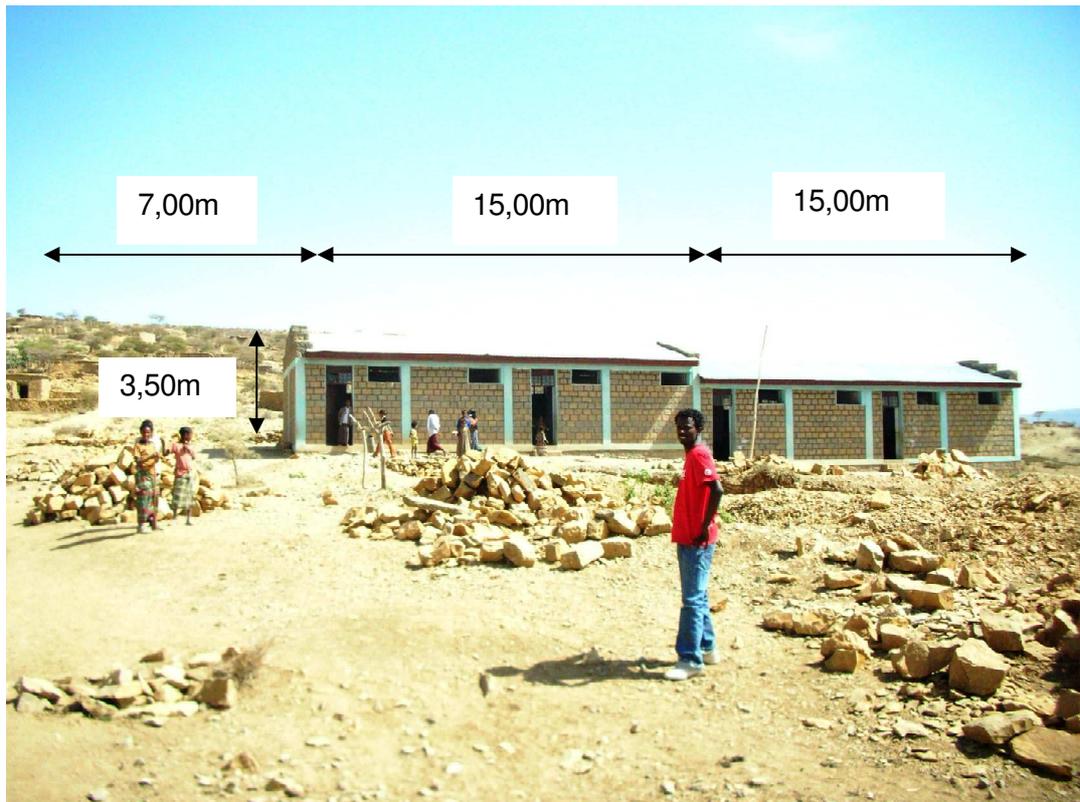
**Abbildung 4:** Blick vom Hochland in den Kessel von AbAla (Hidmo links außerhalb des Bildes) (Mohn)

Um die Trinkwasserversorgung im Dorf zu verbessern, wurde von der Äthiopischen Regierung bereits ein Wasserspeicher errichtet (s. Abb. 5), der von einem weit entfernten Tiefbrunnen versorgt wird.

Die örtliche Schule liegt ungefähr 500 m außerhalb des Dorfes und somit auch außerhalb der Wasserversorgung. Eine Rohrleitung soll die Schule an das vorhandene Versorgungssystem anschließen, um Trinkwasser zu erhalten, die Realisierbarkeit ist allerdings nicht sicher und es würden hohe Kosten entstehen. Dieses Thema ist daher nicht Gegenstand der Arbeit und wird daher nicht näher betrachtet.



**Abbildung 5:** Vorhandene Trinkwasserversorgung (Mohn)



**Abbildung 6:** Grundschule in Hidmo (Mohn)

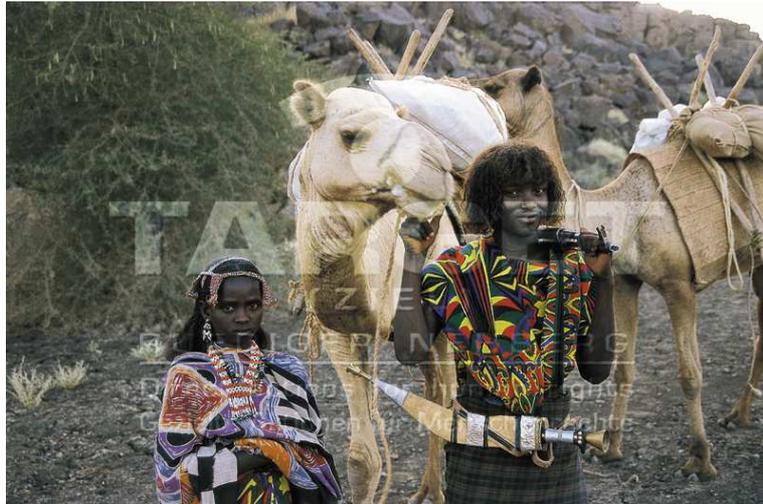
In Abbildung 6 ist die Grundschule von Hidmo zu sehen und zeigt, dass der Standort Gefälle aufweist, welches auf 10% geschätzt wird. Die Maße des Schulgebäudes sind anhand des Fotos abgeschätzt worden:

Schulgebäude			
Breite=	8,00 m	$A=L*B$	240,00 m <sup>2</sup>
Länge=	30,00 m		
Trauf Höhe=	3,50 m		
Dachneigung=	30 Grad		

## 2.2 Nutzergruppe

Die Einwohner von Hidmo leben in semipermanenten Streusiedlungen, zum größten Teil als halbnomadisch, muslimisch lebende Viehzüchter und gehören zum stolzen Volk der Afar, dessen Verbreitung sich über den Nordosten Äthiopiens, den Osten Eritreas und über Djibouti erstreckt. Sie leben seit jeher in vier Sultanaten zusammen, die sich weiter in etliche Scheichtümer unterteilen. Die Afar gliedern sich in zwei Hauptstämme und dutzende Unterstämme, wovon der Clan die kleinste soziale und kulturelle Einheit bildet. Sie kümmern sich wenig um Staatlichkeiten und sind, wie viele andere Völker auch, Opfer der kolonialen Grenzziehungen in Afrika geworden. Entscheidungen werden in der Gemeinschaft getroffen unter der Leitung des Dorfvorstehers. Für die Durchführung und den Betrieb eines solchen Projekts ist eine Kenntnis der jeweiligen Stellungen und Hierarchien in der Dorfgemeinschaft und die Einbeziehung der Einheimischen und ihrer Kultur zwingend erforderlich.

Die Afar üben eine mit Tradition vermischte Form des Islam aus und leben hauptsächlich von der Viehzucht und dem damit verbundenen Viehhandel. Dazu gehören Schafe, Ziegen, Rinder, Dromedare und Esel, letztere dienen gleichzeitig als Transportmittel. Außerdem wird vereinzelt für den Eigenbedarf noch etwas Getreide angebaut, wie Mais oder Hirse. Die kargen Weide- und Ackerflächen geben wenig her und werden meist nicht gedüngt. Daher ziehen die Afar in den 3 trockensten Monaten mit ihrem Vieh umher, dorthin wo jeweils noch Weideland und Wasser zu finden ist. Aufgrund dieses Umherziehens ist die Alphabetisierungsrate in der Region sehr gering. Das Familienleben ist gekennzeichnet durch die Vorherrschaft der Männer. Frauen kümmern sich um den gesamten Haushalt, sind somit auch für das Wasserholen zuständig. Oft müssen sie mit bis zu 20 lit Wasser gefüllten Kanistern oder Tongefäßen auf dem Rücken kilometerweite Wege zurücklegen (s. Abb. 8). Dadurch können viele Mädchen die Schule nicht besuchen. Das Trinkwasserversorgungssystem in Hidmo ist ein erster Schritt zur sicheren Versorgung der Bevölkerung und eine große Erleichterung insbesondere für die Frauen und Mädchen. Die Regierung von Äthiopien versucht die Afar mit den aus Tigray eingewanderten Christen sesshaft zu machen und in Ackerbau zu schulen.



**Abbildung 7:** Afar-Paar mit Dromedaren (Nehberg TARGET)



**Abbildung 8:** Frau beim Wasserholen (Gardemann)

### 2.3 Krankheiten

Fast alle Krankheiten in der Region sind auf verunreinigtes Wasser, unzureichende Sanitärversorgung und der damit verbundenen mangelnden Hygiene zurückzuführen. Die Menschen defäkieren im Freien und in den Fäkalien leben diverse Bakterien, Parasiten und Viren, die unterschiedlichste Krankheiten auslösen können. Diese Krankheitsauslöser werden durch Fliegen, dreckige Hände oder über das Essen auf den Menschen übertragen. Viele Personen tragen unzureichendes oder gar kein Schuhwerk wodurch das Risiko eines Parasitenbefalls (z.B. Hakenwürmer) drastisch steigt, ein ewiger Kreislauf. Einfache hygienische Regeln, wie Händewaschen nach dem Toilettengang sind nicht bekannt oder können nicht ausgeführt werden, weil kein Wasser vorhanden ist. Viele Krankheiten sind eher auf fehlendes Wasser als auf kontaminiertes Wasser zurückzuführen. Diese Infektionen nennt man ‚water-washed‘ und hängen typischerweise mit der Wasserquantität und nicht primär mit der Wasserqualität zusammen. Typische Erkrankungen sind Diarrhöe oder Haut Infektionen wie beispielsweise Scabies (=Krätze) oder Läuse. Ist mehr Wasser für hygienische Belange erhältlich, geht die Anzahl der Erkrankungen drastisch zurück (s. Tab. 1).

**Intervention effectiveness in reducing water-related disease (House et. al. 2004)**

<b>The Effect of Interventions on the Reduction of Diarrheal Diseases</b>	
<b>Intervention</b>	<b>Reduction in Diarrhea (approx. %)</b>
Water Quality	15
Water Quantity	20
Hygiene	33
Sanitation	35

**Tabelle 1:** Reduzierung von Diarrhöe durch Wasser- und Sanitärversorgung (Doyle, 2008, S. 141)

Wasserbürtige Erkrankungen (=water-borne disease) werden verursacht durch mikrobiell kontaminiertes Wasser und werden durch Wasser oder im Wasser übertragen. Die meisten dieser Krankheiten werden durch Viren oder Bakterien übertragen, dazu zählen unter anderem, Diarrhöe, Salmonellen oder Gastroenteritis. Ein weiterer Teil dieser Krankheiten wird durch Süßwasserparasiten verursacht, die Wasser als Transportmedium benutzen zu denen beispielsweise die Spulwürmer oder Pärchenegel (=Schistosoma) gehören.

Frauen und Mädchen trifft es doppelt hart, da Schätzungen zu Folge über 90% aller Frauen in Äthiopien an den Genitalien beschnitten sind. Bei den Afar wird traditionell die Beschneidung des Typ III durchgeführt. Durch das große Engagement von Annette Weber und Rüdiger Nehberg mit ihrer Menschenrechtsorganisation Target, erklärte das Volk der Afar (als erstes Volk überhaupt) schon 2002 den Brauch zur Sünde und legte im Juli 2007

per Stammesgesetz die zukünftige Strafe fest. Diese Gesetzesänderung ist jedoch im Verhältnis zu diesem 5000 Jahre alten Brauch noch sehr neu und es ist davon auszugehen, dass dieser lange Brauch nicht vollständig verschwunden ist. Zu den mit dieser Tradition verbundenen akuten körperlichen Komplikationen gehören Infektionen wie Septischer Schock, HIV, Tetanus und Probleme beim Wasserlassen. Darüber hinaus kann diese Beschneidung Verletzungen benachbarter Organe, Blutungen, Anämie und schlimmstenfalls den Tod hervorrufen, sowie eine Reihe weiterer chronischer Folgen.<sup>3</sup> (Bundesärztekammer, 2005)

Die Klinik in Koraro, einem Dorf in der Tigray Region, hat die zehn häufigsten Erkrankungen dokumentiert, zu sehen in Tabelle 2. In dieser Gegend leben die Menschen unter ähnlichen Bedingungen wie in Hidmo.

Weitere Informationen finden sich außerdem in Kapitel 3.2: Sanitäreinrichtungen

10 häufigsten Erkrankungen 2001 bis 2004, Koraro Clinic				
Nr.	2001	2002	2003	2004
1	Infektionen der Atemwege (Respiratory tract infection)	Infektionen der Atemwege (Respiratory tract infection)	Diarrhöe Erkrankungen (Diarrheal Diseases)	Diarrhöe Erkrankungen (Diarrheal Diseases)
2	Diarrhöe Erkrankungen (Diarrheal Diseases)	Diarrhöe Erkrankungen (Diarrheal Diseases)	Infektionen der Atemwege (Respiratory tract infection)	Malaria
3	Malaria	Darmparasiten (intestinal parasite)	Infektionen der Haut	Infektionen der Atemwege (Respiratory tract infection)
4	Darmparasiten (intestinal parasite)	Malaria	Erkrankungen des Verdauungsapparats (other disease of digestive system)	Darmparasiten (intestinal parasite)
5	Infektionen der Haut	Infektionen der Augen (z.B. Chlamydia trachomatis)	Malaria	Erkrankungen des Verdauungsapparats (other disease of digestive system)
6	Verletzungen	Verletzungen	Infektionen der Augen (z.B. Chlamydia trachomatis)	Hauterkrankungen
7	Gastritis (Magenschleimhautentzündung)	Infektionen der Haut	Darmparasiten (intestinal parasite)	Infektionen der Augen (z.B. Chlamydia trachomatis)
8	Infektionen der Augen (z.B. Chlamydia trachomatis)	Gastritis (Magenschleimhautentzündung)	Anämie (Blutarmut)	Gastritis (Magenschleimhautentzündung)
9	UTI	Anämie (Blutarmut)	Gastritis (Magenschleimhautentzündung)	Anämie (Blutarmut)
10	Malnutrition (Mangelernährung)	Arthritis	Arthritis	Infektionen der Haut

**Tabelle 2:** 10 häufigsten Erkrankungen, Koraro Clinic

<sup>3</sup>Zu den chronischen Folgen gehören Scheidenentzündungen, Schmerzen beim GV, Schmerzen beim Wasserlassen, Harnwegsinfektionen, Inkontinenz, verlängerte Monatsblutungen, schwere Komplikationen bei der Geburt und eine gesteigerte Mortalität. Darüber hinaus kann man von lebenslangen psychischen Leiden ausgehen.

## 2.4 Klima, Geographie und Bodenverhältnisse

Äthiopien lässt sich in 5 Klimazonen aufteilen. Die Afar Region befindet sich in der sogenannten Kola Zone, unter 1500 müNN, das Klima ist heiß und semi-arid. Das bedeutet, dass in etwa 6-9 Monaten des Jahres die Verdunstung größer ist als der Niederschlag, im Rest des Jahres ist es umgekehrt. Es lassen sich verschiedene Regenperioden feststellen:

- *die Trockenzeit* von Oktober bis Januar, die sog. Bega-Saison.
- *die kleine Regenzeit* von Februar bis Mai, die sog. Belg-Saison mit geringen Niederschlägen
- *die große Regenzeit* von Juni und September, die sog. Kiremt-Saison.  
(ihp-hwrp)

Es liegen nur wenige verwertbare Klimadaten vor, was typisch für die ländlichen Gebiete in Äthiopien ist. Die Daten sind lücken- oder fehlerhaft oder gar nicht vorhanden. Für eine gute Planung sind diese Klimadaten jedoch Voraussetzung, zum einen für die Speicherbemessung und zum anderen zur Bestimmung des Bewässerungswasser-Bedarf, bzw. der Evapotranspiration. Die Klimadaten auf die zurückgegriffen werden konnte, wurden in der ca. 3 Kilometer entfernten Stadt Abala, auch bekannt als Shiket, gesammelt. Es wurden Tagesniederschläge, Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit gemessen und dokumentiert. Die Datenreihen reichen von 1972 bis 2006. Sie wurden gesichtet, korrigiert und ausgewertet und in verwertbare und nicht verwertbare Jahre eingeteilt.

### 2.4.1 Niederschlagsdaten

Es wurden insgesamt 17 Jahre gemessen, die 80er und 90er Jahre fehlen fast komplett, was möglicherweise auf den in diesem Zeitraum ausgetragenen eritreischen Unabhängigkeitskrieg<sup>4</sup> zurückzuführen ist. Die Daten lassen keine Rückschlüsse auf Einzelereignisse zu, es sind lediglich Tagesmittelwerte vorhanden. Monate, die weniger als 25 Werte und Jahre, die weniger als 10 Monate aufwiesen, wurden aus der Berechnung rausgenommen.. Die Jahre 2005 und 2006 wurden nach Äthiopischem Kalender, einer Form des Koptischen Kalenders<sup>5</sup> dokumentiert. Diese beiden Jahre wurden umgerechnet auf den

---

<sup>4</sup> Eritreischer Unabhängigkeitskrieg= 1961 bis 1991, Sezessionsbestrebungen Eritreas gegenüber Äthiopien aufgrund von Repression, wurden von arab. Staaten unterstützt. 1993 Unabhängigkeit durch Referendum. (Universallexikon, 2004, S. 243) weitere Grenzstreitigkeiten in den folgenden Jahren

<sup>5</sup> Koptischer Kalender= 13 Monate, 12 Monate mit 30 Tagen und 1 Monat mit 5 bzw. 6 Tagen (Schaltjahrausgleich)

bei uns in Europa gültigen Gregorianischen Kalender. Insgesamt konnten also 13 verwertbare Jahre ermittelt werden. Die Auswertung der Daten sind im Anhang 1 zu finden.

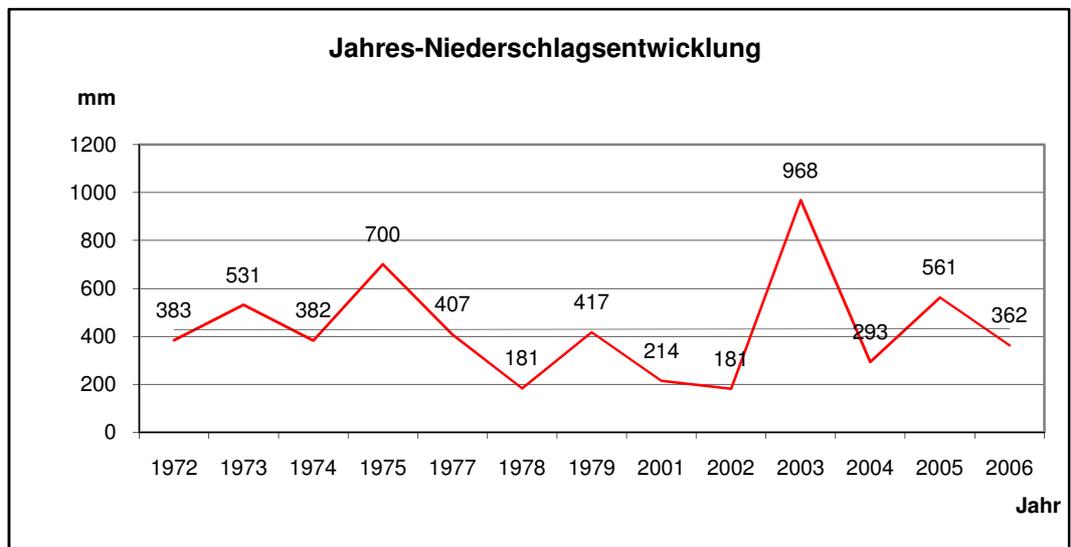


Abbildung 9: Jahresniederschlagsentwicklung (Abala/Shiket)

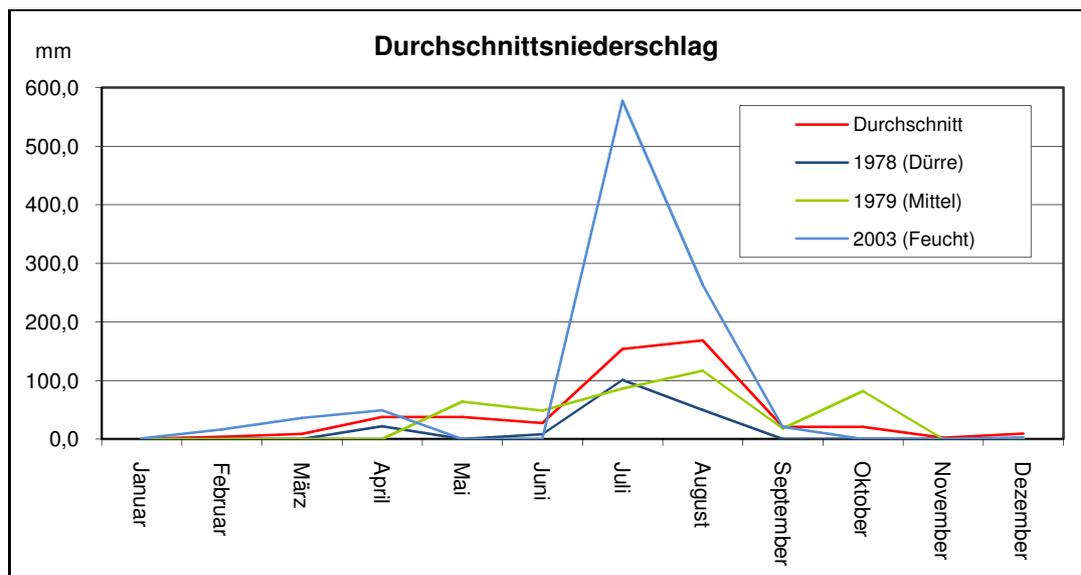


Abbildung 10: gemittelte Regendaten Abala/Shiket

In Abbildung 9 kann man erkennen, dass die Niederschläge eine hohe Variabilität aufweisen, was typisch ist für diese Region und die Festlegung auf einen Bemessungswert erschwert. Der Jahresdurchschnittsniederschlag dieser 13 Jahre beläuft sich auf 493,4 mm/a.

Vergleicht man die Abbildungen 9 und 10, fällt auf, dass dieser Durchschnittswert eher hoch ist und dass das Jahr 2003 mit 968 mm/a eine Ausnahme darstellt. Meistens liegen

die Werte deutlich unter 500 mm/a, gerade in den Jahren ab 2000. Hinzu kommt, dass nach mündlicher Überlieferung (Klopper, 2010, S. 34) das Jahr 2008 ein sehr trockenes war. Ein weiterer Faktor ist der weltweite Klimawandel. Prognosen zufolge werden die Temperaturen steigen, demzufolge auch die Evapotranspiration, außerdem rechnet man mit insgesamt weniger Niederschlag, aber mit mehr Starkregenereignissen, die wiederum durch Erosion die Desertifikation steigern (vgl. Cramer/Unmüßig, 2008, S. 3).

Alle Faktoren zusammen genommen, lassen den Schluss zu, dass der Durchschnittswert von 493,4 mm/a wenig repräsentativ ist und eine andere Lösung gefunden werden muss. Es bleibt also für die weiteren Berechnungen zu prüfen, welche jährliche Niederschlags-höhe am sinnvollsten als Ansatz zu wählen ist.

Für semi-aride Gebiete hat es sich bewährt für die Bemessung der Speicher eine 80%ige Zuverlässigkeit anzusetzen (vgl. Nissen-Petersen, 2007, S. 27). Dies bedeutet, dass in 8 von 10 Jahren die anfallende Niederschlagsmenge ausreicht, um den Speicher komplett zu füllen. Um die Betrachtung zu vereinfachen, und bereits die größten Ausreißer zu relativieren werden gemäß Tabelle 3 aus den 13 auswertbaren Jahren, 10 rechnerisch ermittelte Referenzjahre gebildet.

Jahr	Index	hN	hN / 1,3	Formel	Referenzjahr hN
		mm/a	mm/a		mm/a
2002	J1	180,5	138,8	$J1^{*1,0}+J2^{*0,3}=\phantom{}$	180,7
1978	J2	181,2	139,4	$J2^{*0,7}+J3^{*0,6}=\phantom{}$	196,3
2001	J3	214,0	164,6	$J3^{*0,4}+J4^{*0,9}=\phantom{}$	268,4
2004	J4	292,6	225,1		
2006	J5	361,8	278,3	$J4^{*0,1}+J5^{*1}+J6^{*0,2}=\phantom{}$	359,5
1974	J6	381,9	293,8	$J5^{*0,8}+J6^{*0,5}=\phantom{}$	382,5
1972	J7	383,4	294,9	$J6^{*0,5}+J7^{*0,8}=\phantom{}$	397,9
1977	J8	407,0	313,1	$J7^{*0,2}+J8^{*1}+J9^{*0,1}=\phantom{}$	424,2
1979	J9	416,9	320,7		
1973	J10	531,2	408,6	$J9^{*0,9}+J10^{*0,4}=\phantom{}$	540,4
2005	J11	561,2	431,7	$J10^{*0,6}+J11^{*0,7}=\phantom{}$	635,8
1975	J12	699,8	538,3	$J11^{*0,3}+J12^{*1}=\phantom{}$	906,0
2003	J13	967,8	744,5		

**Tabelle 3:** Ermittlung der 10 Referenzjahre

Priorität	Referenzjahr	Zuverlässigkeit	Verluste
	mm/a	%	mm/a
1	906,0	10	546,4
2	635,8	20	276,3
3	540,4	30	180,9
4	424,2	40	64,6
5	397,9	50	38,4
6	382,5	60	22,9
7	359,5	70	0,0
8	268,4	80	-91,1
9	196,3	90	-163,2
10	180,7	100	-178,9

**Tabelle 4:: Referenzjahre**

Bei Betrachtung dieser Referenzjahre in Tab. 4 zeigt sich nun, dass bei Auswahl des 80%igen Zuverlässigkeitswertes lediglich eine Menge von **268,4** mm gespeichert würde. Dies erscheint angesichts des Bedarfs eindeutig zu wenig. Auch der Vergleich mit dem Durchschnittswert von 493,4 mm ergibt, dass dieser Ansatz zu gering wäre, könnten doch gerade mal gut die Hälfte des durchschnittlichen Jahresniederschlages im System verwertet werden.

Wenn man nun das System für eine 70% Zuverlässigkeit auslegt, das heißt mit einem Wert von 359,5 mm/a rechnet, würde die anfallende Niederschlagsmenge ausreichen um den Speicher in 7 von 10 Jahren zu füllen. Dies wäre ein guter Kompromiss zwischen dem Jahresdurchschnittswert von 493,4 mm und dem 80%igen Zuverlässigkeitswert von 268,4 mm. Ein Vergleich mit den nachfolgenden Jahren zeigt, dass bei Auswahl dieses Wertes von 359,5 mm auch nur relativ geringe Wassermengen in den nächst regenreicheren Referenzjahren ungenutzt verloren gehen: 22,9 bzw. 38,4 bzw. 64,6 mm Niederschlagshöhe für die Referenzjahre 60%-40% (Tab. 4). Aus den hier genannten Überlegungen resultiert der Entschluss, mit dem Wert von 359,5 mm/a das System zu bemessen. Dieses Referenzjahr wurde wiederum zurückgerechnet auf Monatssummen für die Speicherbewirtschaftung, siehe Abbildung 11.

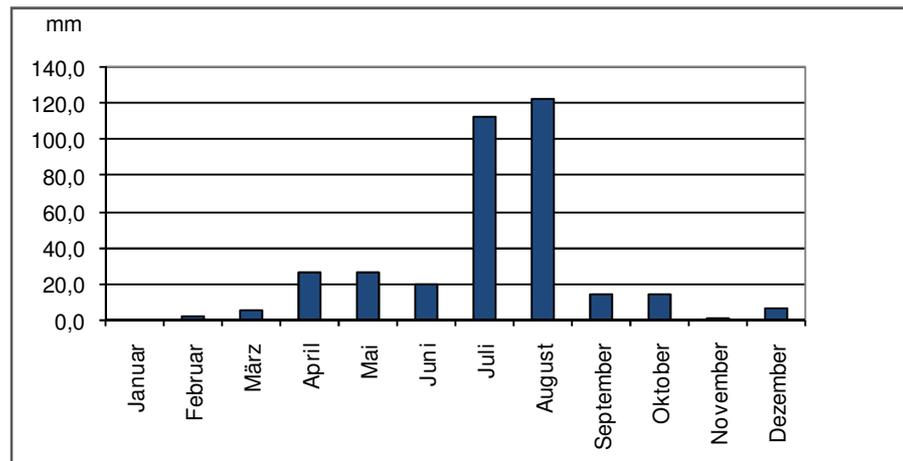


Abbildung 11: Ganglinie Monatliche Niederschlagsverteilung bei 359,5 mm/a

### 2.4.2 Lufttemperaturdaten

Es wurden jeweils Tagesmittelwerte der minimalen und maximalen Lufttemperatur gemessen und dokumentiert. Ebenso wie bei den Niederschlagsdaten fehlen jedoch auch hier die 80er und 90er Jahre. Bei der maximalen Temperatur liegen leider nur 2 verwertbare Jahre vor. Zur Berechnung der Evapotranspiration (s. Kap. 4) wurden aus den gemessenen Daten Durchschnittswerte ermittelt.

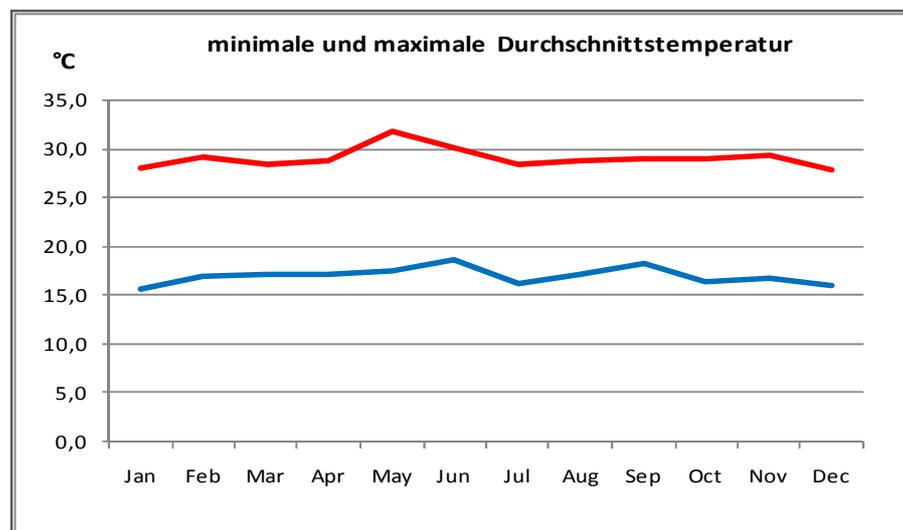


Abbildung 12: Durchschnittstemperatur

### 2.4.3 Relative Luftfeuchtigkeit

Über die relative Luftfeuchtigkeit liegen Datenreihen aus den Jahren 1972 bis 1980 vor: es wurde jeweils um 6.00, um 12.00 und um 18.00 Uhr gemessen. Diese Daten wurden ebenfalls gesichtet und ausgewertet, damit sie zur Berechnung der Evapotranspiration (s. Kap. 4) verwendet werden können.

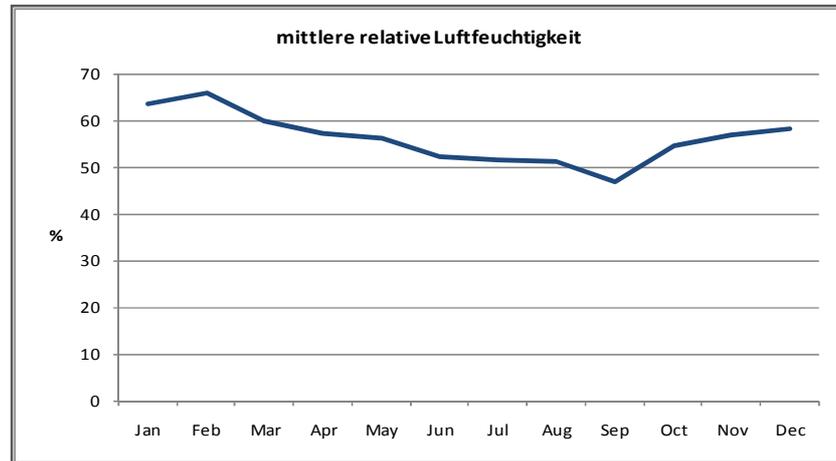


Abbildung 13: mittlere relative Luftfeuchtigkeit

### 2.4.4 Bodenverhältnisse

Die Region wird durch Sande geprägt, die ersten Schichten bestehen zumeist aus locker gelagertem und sehr feinkörnigem gelben Sand. Dieser Schicht folgt dicht gelagerter, roter Sand mit teilweise starkem Schluff- oder Lehmanteil, darunter liegt Tonhorizont, darunter Fels (Klopfer, 2010, S. 32).

### 2.4.5 Geographie

Das Afar Gebiet ist durch starke Wind-, Erosions- und Wassererscheinungen geprägt, wirkt sehr archaisch und rau, was erahnen lässt, wie hart das Leben in diesem Teil der Erde ist. Die Flussläufe sind in keinster Weise gefesselt und viele führen nur in der Regenzeit Wasser. In der Regenzeit schwellen die Flüsse in kürzester Zeit an (s. Abb. 14), ohne den Menschen großen Nutzen zu bringen. Im Gegenteil, das Oberflächenwasser fließt ungenutzt ab, führt zu Erosion und bedroht die flussnahen Siedlungen.



**Abbildung 14:** Fotos von einem Flusslauf in der Nähe von AbAla, zwischen beiden Aufnahmen liegen 13 Minuten (Mohammed Abdulkadir)

### 3 Systemvarianten

#### 3.1 Rainwater Harvesting (RHW)

##### 3.1.1 Einführung

Bei der Technologie des Rainwater Harvesting wird Wasser aus Niederschlägen gesammelt und auf zu bewirtschaftende Felder geführt oder in Wassertanks gespeichert, um dann als Trink- oder Brauchwasser genutzt zu werden oder um in trockenen Zeiten zur Bewässerung der Felder verwendet zu werden.

Den größten Nutzen hat diese Technik in ariden oder semi-ariden Gebieten, vor allem dort wo permanente Wasserressourcen, wie Flüsse oder Quellen nicht vorhanden sind oder aus ökonomischen Gründen nicht erschlossen werden können. All diese Faktoren findet man im nordöstlichen Teil Äthiopiens.

Hier gibt es keine öffentliche Wasserversorgung gibt, die Grundwasserspiegel sind sehr niedrig. Durch Bodendegradation aufgrund von Niederschlagsdefiziten und hohen Temperaturen die eine hohe Evapotranspiration zur Folge haben, ist ein vermindertes Potenzial für eine landwirtschaftliche Nutzung gegeben.

Das Prinzip des RHW ist immer gleich. Es setzt sich aus zwei Bereichen zusammen, zum einen aus dem ‚Catchment‘, der sogenannten ‚Run-off Area‘ und zum anderen aus der ‚Run-on Area‘. Die ‚Run-off Area‘ ist die Fläche, wo der Niederschlag mit verschiedenen Techniken gesammelt wird. Diese Fläche kann z.B. eine Dachfläche oder ein Hang sein. In der ‚Run-on Area‘ wird das Wasser gesammelt und genutzt. Diese Fläche kann ein Wassertank, ein Teich oder eine Ackerfläche sein. (s. Abb. 15)

Die Run-off Area ist immer größer als die Run-on Area. Je trockener die Region ist, desto größer ist die Runoff Area. Diese beiden Bereiche grenzen entweder direkt aneinander an oder sind durch Gräben oder Rohre miteinander verbunden. (Massmann, 2005), (IHP-HWRP, 2011)

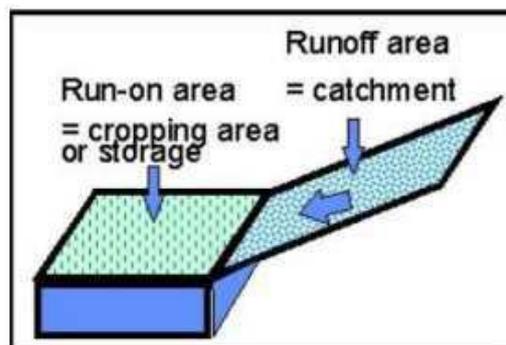


Abbildung 15: Prinzip des Water Harvesting (Massmann, 2005, S. 5)

Im Folgenden werden Systemvarianten vorgestellt, die grundsätzlich für die Grundschule in Hidmo in Frage kommen.

### 3.1.2 Roofwater Harvesting

In Regionen mit Wasserknappheit und fehlender oder mangelhafter Wasserversorgung ist das Roofwater Harvesting eine bewährte Problemlösung. Das System setzt sich im Wesentlichen aus drei Elementen zusammen, die in Abbildung 16 veranschaulicht werden.

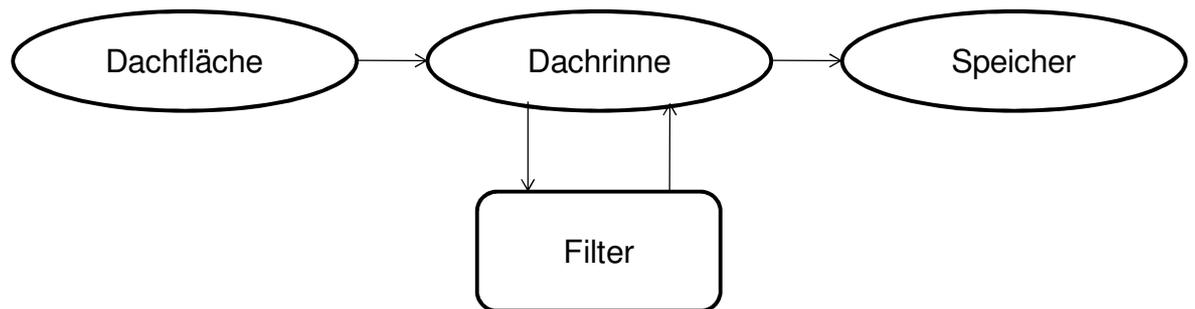


Abbildung 16: Elemente des RWH

Hierbei bilden die Dachfläche die Run-off Area und der Speicher die Run-on Area. Tritt ein Niederschlagsereignis ein, wird der Abfluss über Regenrinnen und Fallrohre in den Speicher geleitet (s. Abb. 17).

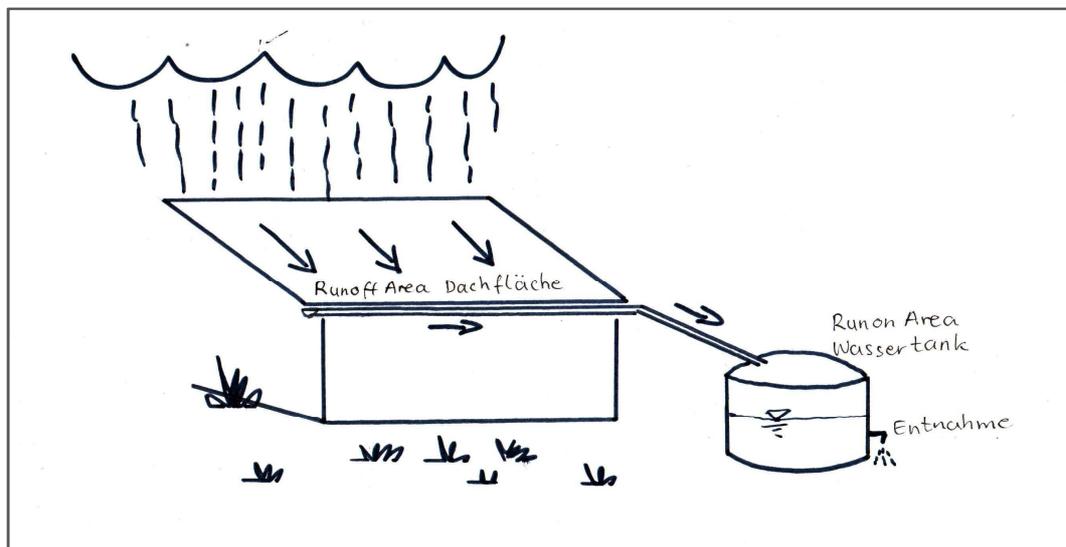


Abbildung 17: Prinzip des RWH

Grundsätzlich wird Roofwater Harvesting durch sechs signifikante Eigenschaften geprägt:

- Sammelt Oberflächenwasser mittels vorh. Dachfläche
- Benötigt adäquate Dachform & Dachmaterial

## 3.1 Rainwater Harvesting (RHW)

- Wasserquelle direkt vor der Haustür, lästiges Schleppen fällt weg
- Stellt keine besonderen Anforderungen an Topographie und Geologie
- Private Wasserquelle, benötigt daher kein kommunales Management, mehr Unabhängigkeit und Eigenverantwortung für die Nutzer
- Liefert chemisch sauberes und normalerweise biologisch relativ unbedenkliches Wasser

Unbedingt zu beachten bei dieser Technologie sind Staubeinträge oder Verunreinigungen durch das Dachmaterial. Hier helfen Filtersysteme, die das Niederschlagswasser durchläuft bevor es in den Speicher geleitet wird. Außerdem sollte die Run-on Area abgedeckt sein, damit das Brüten der Anopheles Mücke verhindert wird. Hier eignet sich hartes Dachmaterial, welches das Niederschlagswasser nicht absorbiert oder verunreinigt, wie z.B. Wellblech oder Dachziegel. Ungeeignet hingegen sind organische Materialien wie Stroh oder Schilf.

In semi-ariden Gebieten ist die Menge an Wasser, die gesammelt werden kann in erster Linie abhängig von der Dachflächengröße und nicht von der Niederschlagsmenge. Meist ist die Dachfläche nicht groß genug um ausreichend Wasser zur Deckung der Bedürfnisse aller Nutzer zu erfassen. In diesem Fall wird das Dach erweitert oder es werden zusätzliche Quellen erschlossen, letzteres stellt in der Praxis die gängigste Methode dar.

Ein weiterer wichtiger und oft vernachlässigter Faktor ist die Konstruktion der Dachrinnen bzw. der Fallrohre, die das Wasser in den Speicher leiten. Schlecht konstruierte zu kleine Dachrinnen bringen jedes Roofwater Harvesting System zu Fall. Dachrinnen müssen in der Lage sein, das Wasser erst aufzufangen und dann weiterzuleiten, ohne dass große Mengen dabei verloren gehen. In Deutschland ist es üblich sehr schmale Dachrinnen horizontal und nah an der Dachkante anzuschließen. Diese Technologie ist für ein Roofwater System ungeeignet, hier sollten Dachrinnen Gefälle aufweisen, wesentlich breiter sein und nicht direkt an der Dachkante angebracht werden, wobei das jeweilige Design der Dachrinnen von der Niederschlagsintensität abhängig ist.

Der größte Kostenpunkt des Systems ist der Speicher, bei dem es unterschiedlichste Möglichkeiten der Gestaltung gibt. Diese variieren in Form und Größe und sind von mehreren Faktoren abhängig: Von Dachflächengröße und -material, der Anzahl der Nutzer, des Verwendungszwecks, dem lokal erhältlichen Baumaterial und natürlich von den zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln.

Wassertanks können unterirdisch oder oberirdisch gebaut werden (s. Abb. 18/19). Beides hat seine Vor- und Nachteile, die in folgender Tabelle erläutert werden:

	Vorteile	Nachteile
Oberirdisch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erlaubt einfache Inspektion bei Verdacht auf Schäden, Leckagen</li> <li>• Wasserentnahme mittels Gravitation und Wasserhahn, also keine Pumpe</li> <li>• Können über GOK erstellt werden um Wasserdruck zu erhöhen</li> <li>• Einfache Konstruktion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• In der Regel teurer</li> <li>• Einfacher zu beschädigen</li> <li>• Anfälliger für schwierige Wetterverhältnisse</li> <li>• Benötigen viel Platz</li> <li>• Fehler in der Konstruktion können gefährlich werden</li> <li>• Tank leert sich, wenn Hahn aus Versehen offen</li> </ul>
Unterirdisch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wände können dünner gestaltet werden, wg Erddruck und Wasserdruck</li> <li>• Tank kann sich nicht leeren wenn Hahn offen bleibt,</li> <li>• Benötigt wenig oder keinen Platz über GOK</li> <li>• Wasser bleibt kühler, bessere Qualität</li> <li>• Dezente Bauweise</li> <li>• Niedrige Temperaturen keine Bakterienvermehrung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benötigt entweder eine Pumpe zur Wasserentnahme oder eine Abtreppung</li> <li>• Schwierigere Inspektion</li> <li>• Konstruktion kann von Baumwurzeln oder steigendem GW beschädigt werden</li> <li>• Schwieriger zu säubern</li> </ul>

**Tabelle 5:** Vor- und Nachteile eines Wassertanks

Zur Versorgung einer Grundschule mit Brauchwasser kommen im wesentlichen 3 unterschiedliche Konstruktionen in Frage

### 1. Gemauerte Zisternen

Fast alle Sorten von Steinen und Blöcken können zum Bau einer Zisterne verwendet werden, vorausgesetzt der Speicher ist entsprechend konstruiert und wasserdicht verputzt. Der Unterschied liegt im Preis: herkömmlich hergestellte, gebrannte Ziegelsteine sind wesentlich teurer als manuell gefertigte, gepresste, ungebrannte Steine, wie z.B. Lehmziegel. Es können auch Bruchsteine verwendet werden, die vor Ort in die rechte Form geschlagen werden. Diese Natursteine bieten eine günstige Alternative. Allerdings wird für das Verfüllen der Fugen wesentlich mehr Zement benötigt und Zement ist in Äthiopien ein sehr teurer Baustoff.

## 3.1 Rainwater Harvesting (RHW)



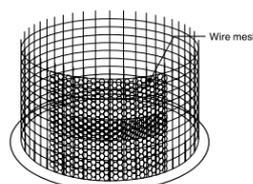
**Abbildung 18:** Bau einer Zisterne mit Bruchsteinen (Straub Ingenieure ohne Grenzen)



**Abbildung 19:** Bau einer Zisterne mit ungerannten Steinen (Nissen-Petersen, 2007, S. 13)

## 2. Ferro Cement Tanks

Ferro Cement heißt soviel wie “bewehrter Mörtel“, da Splitt und Kiesschotter nicht verwendet werden. Als Bewehrung dient meist einfacher Maschendraht (s. Abb. 20). Ferro Cement ist durch seine feine Struktur viel flexibler als Stahlbeton und sehr biegefest, weswegen er prädestiniert ist für kleine Spannweiten. Früher wurde er beispielsweise zum Bootsbau eingesetzt. Die Herstellung eines Ferro Cement Tanks erfordert große Genauigkeit und gewissenhafte, ausgebildete Arbeiter. Bei der Herstellung des Mörtels muss penibel darauf geachtet werden, dass sauberer Grobsand aus z.B. einem Flussbett, frisch hergestellter Zement und sauberes Wasser eingesetzt wird. Im Gegensatz zu den gemauerten Zisternen ist dieser Tank am kostengünstigsten, allerdings wird wesentlich mehr Wasser benötigt.



**Abbildung 20:** Bewehrung eines Ferro Cement Tanks (Skinner)



**Abbildung 21:** Oberirdischer Ferro Cement Tank einer Grundschule in Kenia, (Nissen-Petersen, 2007, S. 59)



**Abbildung 22:** *Unterirdischer Ferro Cement Tank*

### 3. Plastiktanks

Plastiktanks, sogenannte Polytanks, sind die einfachste Lösung, da hier lediglich der Untergrund etwas aufbereitet werden muss. Diese Tanks bestehen aus zwei Schichten nahtlos hergestelltem Polyethylen und haben meist eine zylindrische Form. Die innere Schicht ist weiß und die äußere schwarz. Die Tanks sind UV-stabilisiert und halten auch den härtesten Wetterbedingungen stand. Allerdings ist diese die mit Abstand kostenintensivste Lösung. Ein 10m<sup>3</sup> Polytank kostet doppelt so viel wie der gesamte Bau einer 10m<sup>3</sup> gemauerten Zisterne. Die Tabelle 4 liefert eine Kostenübersicht für Plastiktanks und Zisternen. Außerdem wird mit dem Bereitstellen eines Polytanks das Ziel von Entwicklungszusammenarbeit - Hilfe zur Selbsthilfe - nicht erreicht. Anders beim Bau von Zisternen, hierbei können die lokalen Arbeiter das angelernte Wissen an andere weitergeben und sind in der Zukunft alleine in der Lage einen Wassertank zu errichten.



**Abbildung 23:** *Polytanks* (Nissen-Petersen, 2007, S. 9)

**Construction cost of water tanks Spherical plastic water tanks**

<b>Volume and construction material for tanks</b>	<b>Cost October 2006 US\$</b>	<b>Cost per cu.m. US\$</b>
1 cu.m. of plastic	221,07	221,07
2 cu.m. of plastic	476,50	238,25
4 cu.m. of plastic	1077,24	269,32

The cost of transporting the tanks, excavation, concrete slab and back-filling must be added to the costs listed above.

**Cylindrical plastic water tanks**

<b>Volume and construction material for tanks</b>	<b>Cost October 2006 US\$</b>	<b>Cost per cu.m. US\$</b>
1 cu.m. of plastic	162,78	162,78
3 cu.m. of plastic	526,24	175,41
4 cu.m. of plastic	731,80	182,95
5 cu.m. of plastic	914,68	182,94
6 cu.m. of plastic	1042,32	173,73
8 cu.m. of plastic	1517,85	189,74
10 cu.m. of plastic	1972,72	197,22
15 cu.m. of plastic	3343,87	222,92
24 cu.m. of plastic	4980,54	207,52

The above costs include 16% VAT. The cost of transporting the tanks and foundation must be added to the cost listed above.

**Water tanks described in the handbook "water from roofs" by Erik Nissen-Petersen**

<b>Volume and construction materials for tanks</b>	<b>Cost October 2006 US\$</b>	<b>Cost per cu.m. US\$</b>
3 cu.m. built of ferro-cement	319,57	106,53
5 cu.m. built of concrete	580,01	116,00
10 cu.m. built of burnt bricks	948,07	94,81
11 cu.m. built of ferro-cement	740,05	67,28
12 cu.m. built of concrete blocks	928,91	77,41
15 cu.m. built of soil compr. blocks	790,93	52,73
23 cu.m. built of ferro-cement	1084,84	47,16
46 cu.m. built of ferro-cement	1520,16	33,04
90 cu.m. built of ferro-cement	2271,63	25,24

Quelle: Tabelle Seite 17. aus "water from roofs" by Erik Nissen-Petersen, umgerechnet in US\$

**Tabelle 6:** Kostenübersicht Zisternen und Plastiktanks

### 3.1.3 Macrocatchments

Macrocatchments sind große Systeme, bei denen der Oberflächenabfluss auf einer Felsfläche oder einer Bodenoberfläche gesammelt wird und von dort in ein Reservoir gelangt. Die Runoff Area ist hierbei sehr groß mit einem meist sehr starkem Gefälle. Das Verhältnis Runoff Area zu Runon Area ist ca. 10:1 bis 100:1. Der gesammelte Abfluss wird über spezielle Zuleitsysteme in den Speicher geleitet. So gibt es z.B. künstliche Auffangbecken, Teiche, Zisternen usw. Die Reservoirs dienen zum einen der Trink- und Haushaltswasserversorgung und zum anderen der Bewässerung.

#### 3.1.3.1 Rockcatchments

Bei diesem System wird Regenwasser über große, abschüssige Felsflächen gesammelt an deren Fuß Dämme errichtet werden, die das Niederschlagswasser auffangen bzw. aufhalten, das dann über eine Rohrleitung zum Nutzer gelangt (s. Abb. 24). Das Niederschlagswasser kann auch, statt eines Dammes direkt in eine Zisterne geleitet werden. Das hängt immer von der jeweiligen Felsenstruktur ab, kein Rockcatchment gleicht dem anderen.



**Abbildung 24:** *Rockcatchment Dam* (Nissen-Petersen E. , 2007, S. 3)

Rockcatchments bieten eine sehr wirtschaftliche und sichere Wasserquelle für semi aride Gebiete mit wenig Niederschlag, wenig wasserführenden Flüssen und großen Felsvorsprüngen bzw. Gebirgsketten. Fallen kleine Regenschauer auf große Felsflächen, können diese riesige Mengen an Wasser liefern und so den Wasserbedarf vieler Nutzer decken. 1 ha Felsenfläche liefert pro 100mm Niederschlag 1000m<sup>3</sup> Wasser.

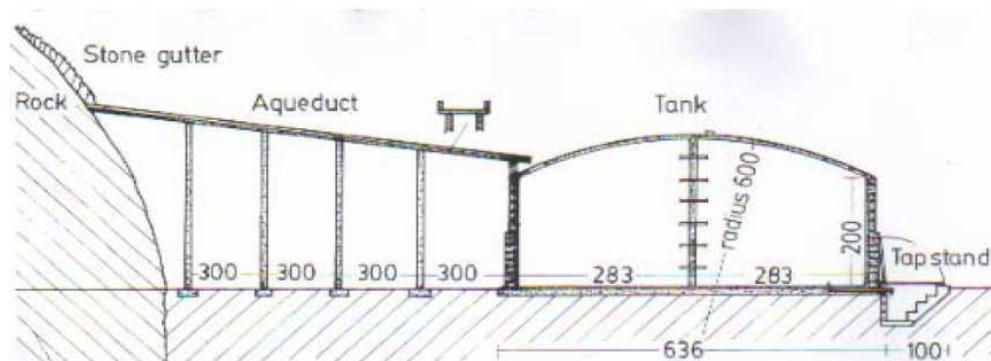
Der Kitui District in Kenia hat über 400 Rock Catchments und Dams, einige davon sind über 50 Jahre alt und liefern nach wie vor Wasser ohne größere Schäden oder Leckagen (Nissen-Petersen E. , 2007, S. 6). Um die Wasserqualität zu erhöhen, müssen die Reser-

## 3.1 Rainwater Harvesting (RHW)

voirs vor der Regenzeit gereinigt werden und Oberflächenwasser sollte gefiltert werden bevor es das Reservoir verlässt, z.B. mit einem Sandkiesfilter.

Um große Evaporationsverluste zu vermeiden und um das Brüten der Anopheles Mücke zu verhindern und somit die Ausbreitung von Malaria einzudämmen, sollten die Speicher abgedeckt sein. Neben der Möglichkeit der Abdeckung zur Verhinderung des Brutvorgangs, kann auch der Einsatz des Tilapia Nilotica Fisch, der zur Familie der Buntbarsche gehört zum Tragen kommen. Diese vermehrungsfreudigen und aggressiven Fische ernähren sich unter anderem von Anopheles Larven und sind in der Lage die Anzahl der Larven um 95% zu reduzieren. (Welt Online, 2007) Außerdem können diese eiweißhaltigen Fische das Nahrungsangebot der lokalen Bevölkerung erweitern. Aus hygienischen Gründen ist ein abgedeckter Speicher aber vorzuziehen (s. Abb. 26).

Die Wahl eines geeigneten Standorts ist die wohl heikelste Aufgabe eines Rockcatchment Projekts.



**Abbildung 25:** *Wassertank der via Aqueduct gespeist wird*

Für einen Laien wird es schwierig sein, sich vorzustellen, wie verschiedene Felsenformationen dazu genutzt werden können, Wasser zu speichern. Da außerdem viele Berge mit Vegetation überzogen sind, ist es kompliziert deren Potenzial zu erkennen. Deswegen sollte man bei der Erkundung einen erfahrenen Fachmann, z.B. einen Geologen, unbedingt zu Rate ziehen. Zusätzlich zur Erkundung vor Ort, empfiehlt es sich Satellitendaten, Geländemodelle oder hochaufgelöste Bilder von Google Earth in die Standortwahl mit einzu beziehen. Im wesentlichen sollte darauf geachtet werden, dass

1. die Run-off Area so gestaltet ist, dass Oberflächenwasser ohne Behinderung abfließen kann
2. die Möglichkeit besteht, Mauern zu errichten, die das Oberflächenwasser in das eigentliche Reservoir leiten
3. man am Fuße des Felsens einen Damm oder einen Wassertank errichten kann, der gut zugänglich ist

## 3.1 Rainwater Harvesting (RHW)

4. die Möglichkeit besteht, ein Zuleitungssystem vom Speicher zum Endverbraucher zu legen, das nicht durch Umwelteinflüsse oder Tiere zerstört werden kann



**Abbildung 26:** *Rock Catchment mit gewölbtem Dach*

Ob man einen Damm oder einen Wassertank errichtet, hängt von den örtlichen Begebenheiten ab und wie viele Nutzer zu versorgen sind, beides hat Vor- und Nachteile, die man folgender Tabelle entnehmen kann:

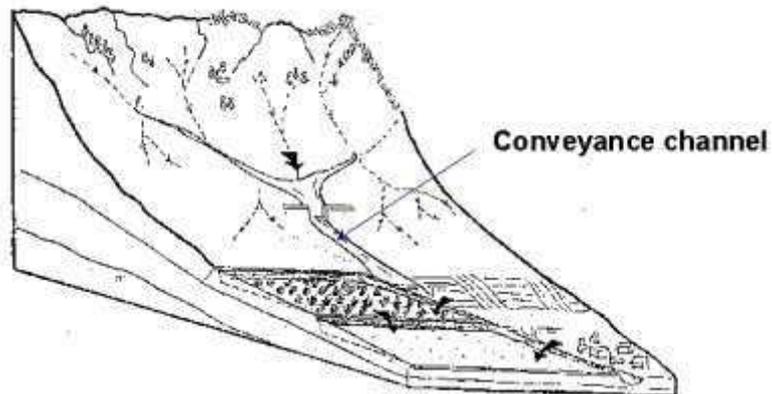
	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
Rockcatchment Dam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• liefern große Wassermengen, ein Speicher für viele Nutzer</li> <li>• können in Phasen errichtet werden, je nach Verfügbarkeit finanzieller Mittel und Arbeiter, flexibel</li> <li>• einfach zu reinigen</li> <li>• lange Lebensdauer</li> <li>• Gemeinschaftsbauwerk, keine Eigentümerstreitigkeiten</li> <li>• Nehmen kein potenzielles Acker- oder Weideland in Anspruch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sehr hohe Evaporationsverluste</li> <li>• Überdachung verdoppelt die Kosten</li> <li>• Komplizierte Konstruktion</li> <li>• Wenn offen, Wasserqualität unter WHO Standard, obschon UV Strahlen der Sonne helfen das Wasser zu sterilisieren</li> <li>• Wenn offen, brüten der Anopheles Mücke</li> </ul>
Rockcatchment Tank	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benötigen lediglich ebenen Untergrund</li> <li>• Einfache Konstruktion, die lokale Arbeiter meist beherrschen</li> <li>• Nutzer sind gewöhnt an Wassertanks</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Speichern nur wenig Wasser</li> <li>• Verglichen mit gemauerten Dämmen, teurer</li> <li>• Anfälliger für Schäden</li> <li>• Kürzere Lebensdauer</li> </ul>

**Tabelle 7:** Vor- und Nachteile des Rockcatchment Dams und Tanks

### 3.1.3.2 Hillside catchments

Bei Hillside catchments oder sogenannten Hillside conduits handelt es sich um speziell angelegte Kanalsysteme an einem Hang mit einem Gefälle größer als 10 % (Siegert 2000), die den Oberflächenabfluss auffangen, gleichzeitig der Bodenerosion vorbeugen und das gesammelte Wasser entweder auf eine Ackerfläche oder in einen Speicher leiten (s. Abb. 27).

Der Bau dieser Kanäle ist zum einen sehr arbeitsintensiv und zum anderen auch sehr kompliziert, da bei falschem Vorgehen die Bodenerosion verstärkt werden kann.



**Abbildung 27:** Hillside Conduits (Siegert 2000)

Bei Reservoirs als Speichermedium sollte darauf geachtet werden, dass der Verschlammlung durch Erosionsmaterial entweder bereits auf der Run-off Area durch z.B. hangparallele Gräben oder direkt am Speicher durch Erosionsfallen vorgebeugt wird.

Abbildung 28 zeigt ein Traditionelles Berkad, das sind große Becken, die Niederschlagswasser auffangen und in Somalia seit Generationen als Wasserquelle dienen. Im Zulauf ist ein Filtersystem integriert, welches Schmutz und Schwebstoffe zurückhält. Abgedeckt sind diese Speicher meist mit Maschendraht und Zweigen um Verschmutzung und Verdunstung vorzubeugen. Das Deutsche Rote Kreuz baut solche Wasserspeicher im Nordwesten Somalias. Im Rahmen dieser Wasserprojekte werden auch Wasserfilter an die Familien verteilt, um eine gesundheitlich unbedenkliche Qualität zu erreichen. Die Filter werden in einer eigens dafür errichteten kleinen Fabrik hergestellt, um die lokale Wirtschaft zu stärken. (DRK)



**Abbildung 28:** Traditionelle 'Berkads' in Somalia (DRK)

Bei diesen Catchments kommt es aufgrund der Dimensionierung zu einem relativ starken Wasserverlust durch Evaporation und Infiltration. Man kann also sagen, dass je kleiner das System ist, desto weniger Wasserverluste stattfinden (Agarwal 2001). Der Bau von Zuleitsystemen erfordert zusätzlich eine hohe Arbeitsleistung.

### 3.1.3.3 Wasserspeicherung durch Versickerung

Eine weitere Möglichkeit Niederschlagswasser zu speichern, stellt die Niederschlagsversickerung dar. Hierzu wird eine Versickerungsfläche ausgewiesen, die eine oder mehrere Drainagen hin zu einer Zisterne erhält. Diese Zuleitsysteme, sind Transportelemente und dienen dazu, das abfließende Wasser zu fangen und in einem zentralen Punkt zu sammeln, von wo es in einen größeren Sandkies-Filtergraben geleitet wird, der wiederum den Wassertank speist.

Die Ingenieure ohne Grenzen e.V. Regionalgruppe Darmstadt hat unter der Leitung von Sebastian Schoeller im Samburuland<sup>6</sup>, fünf Zisternen gebaut. Dazu wurde eine Versickerungsfläche ausgewiesen, eine Rasenfläche, an die blattförmig mehrere Dränagen anschließen die in einem großen Filtergraben enden bevor das Oberflächenwasser in die unterirdischen Zisternen geleitet wird. Die Speicherberechnung gestaltete sich sehr schwierig, da es kaum Grundlagen gab. So beruhten alle Berechnungen auf Annahmen, dies erfordert dann vor Ort, während des Baues eine hohe Flexibilität und ständige Anpassung an die Situation und das verbleibende Restrisiko, dass die Konstruktion nicht funktionstüchtig ist, war relativ hoch. Zusätzlich befinden sich die Sammelkanäle im Untergrund und können nicht eingesehen werden.

---

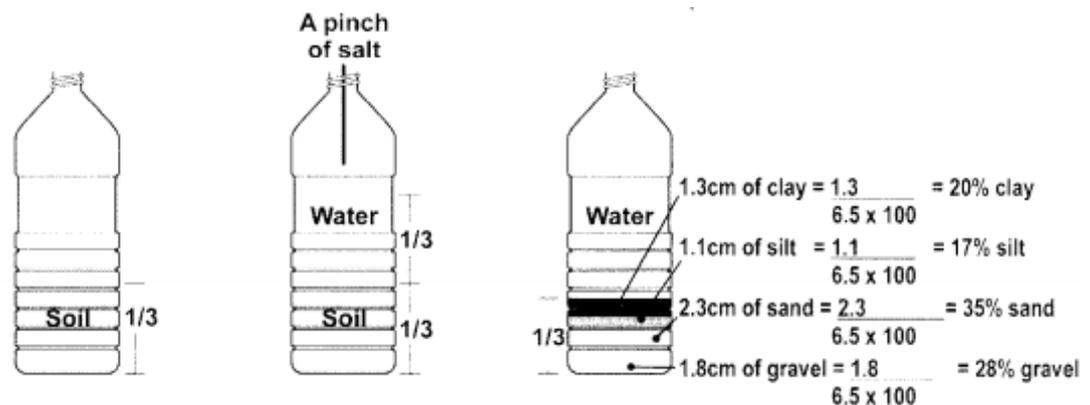
<sup>6</sup>Samburuland gehört zur Provinz Rift Valley in Kenia

## 3.1 Rainwater Harvesting (RHW)

Die Versickerungsflächen und Zuleitsysteme müssen unbedingt eingezäunt werden, um Verunreinigungen und Beschädigungen durch Mensch und Tier zu verhindern. Es sollte eine Wasserschutzzone ausgewiesen werden, wie sie bei uns in Deutschland zur Trinkwassergewinnung bekannt ist, allerdings werden unsere hohen Standards schwer einzuhalten sein. Dennoch sollte versucht werden, das komplette Einzugsgebiet vor Nutzungen jeglicher Art zu schützen. Die Bevölkerung muss, z.B. in Schulungen darauf sensibilisiert werden. Generell kann man sagen, dass es einfacher ist Wasser vor Kontamination zu schützen, als kontaminiertes Wasser wieder zu dekontaminieren (infont-biovision).

Diese Form der Wasserspeicherung erfordert eine sehr genaue Erkundung vor Ort, hier insbesondere der Untergrund. Die Einbeziehung eines Geologen oder Geotechnikers wäre hilfreich. Die Durchlässigkeitsbeiwerte stellen wohl die bedeutendste Einflussgröße dar. dieser geht in die Versickerfläche, Versickerleistung, Versickerverluste, die Fließzeiten und somit in das Speichervolumen ein. Hierzu müssen wenigsten Stichproben der Böden genommen werden.

*Eine sehr simple Bodenanalyse wird in Erik Nissen-Petersens Handbuch „Water from Roads“ erläutert:*



**Abbildung 29:** einfache Bodenanalyse nach Nissen-Petersen

Hierzu füllt man eine transparente PET Flasche zu 1/3 mit einer Bodenprobe und zu weiteren 1/3 mit Wasser auf, dazu gibt man ein Quäntchen Salz und schüttelt die Flasche 1 Minute, lässt sie 1 Stunde stehen und schüttelt sie erneut. Nach weiteren 4 Stunden kann die Stärke der einzelnen Schichten gemessen werden. Die oberste Schicht ist Lehm, die nachfolgenden sind Schluff, Sand und am Boden befindet sich Kies.

Von allen vier vorgestellten Systemvarianten bietet die Wasserspeicherung durch Versickerung die beste Wasserqualität. Niederschlagswasser an sich ist von exzellenter Qualität, gerade in ländlichen Gebieten ohne industrielle Nutzung. Es ist klar, weich und schmeckt gut. Kontaminationen durch Oberflächen oder aus Staubverwehungen, werden

durch Infiltration in den Boden wieder ausgewaschen. Ein Nachteil ist der hohe Platzbedarf und die schwierige und unsichere Speicherbemessung.

#### **3.1.4 Variantenauswahl**

Im Rahmen dieser Arbeit war es nicht möglich, vor Ort in Äthiopien Erkundungen einzuholen, das hat die Entscheidung maßgeblich beeinflusst. Weiterhin war die Datenlage nicht ausreichend. Es konnte nicht mit Sicherheit gesagt werden, ob prinzipiell die Möglichkeit besteht ein Rockcatchment zu bauen oder ob eine Versickerungsfläche ausgewiesen werden kann. Ansonsten wäre ein Rock Catchment sicherlich eine sehr gute Lösung, da es möglicherweise die Bedürfnisse des ganzen Dorfes inklusive der Grundschule, decken könnte. Es ist natürlich strengsten darauf zu achten, dass das Oberflächenwasser ausreichend gefiltert wird, allerdings wären die Kosten für ein solch großes Bauprojekt um ein vielfaches höher als der Bau einer Zisterne.

Eine Versickerungsfläche liefert zwar Wasser von guter Qualität, braucht aber sehr viel Platz und ist wie erwähnt ohne örtliche Erkundungen schwer zu planen, außerdem würde sich diese in unmittelbarer Nähe der Schule befinden und das macht es schwer ein Wasserschutzgebiet auszuweisen.

Aus diesem Gründen wurde beschlossen ein Roofwater Harvesting System zu planen. Das ist auch ohne die genaue Erkundung vor Ort möglich, eine Vorplanung kann anhand der vorhandenen Grundlagen erstellt werden. Weiter hat dieses System den Vorteil, dass es Wasser direkt vor der Tür liefert und die Kinder ihr Wasser nicht herbeischleppen müssen. Die Zisterne ist als Ground Tank vorgesehen. Dies bietet den wesentlichen Vorteil, dass gegenüber oberirdischen Zisternen eine niedrigere Temperatur im Speicher gehalten werden kann. Dadurch wird die Belastung durch Bakterien und Keime verringert, da diese sich nur an warmen Orten wohlfühlen. Außerdem lässt sich die Zisterne mit einer geringeren Wandstärke erstellen denn der hohe Wasserdruck in Richtung Fußpunkt kann zu einem Teil an das umgebende Erdreich abgegeben werden. Auch eine optische Aufwertung der Außenseiten der Zisterne durch Putz und Anstrich ist nicht notwendig. Die Gefahr von Unfällen wird verhindert. Da es sich um eine Grundschule handelt, ist zu erwarten, dass die Kinder in den Pausen wild herumtoben und sich eventuell verletzen indem sie z.B. auf die Zisterne klettern und runter fallen oder aber den Wassertank beschädigen. Der Nachteil eingegrabener Zisternen liegt in der schlechteren Erreichbarkeit des Wassers. Es sind Pumpen oder Abstiege zur Wasserentnahme erforderlich.

Die genaue Konstruktion wird in Kapitel 5 näher beschrieben. Die Konstruktionszeichnungen sind im Anhang 4 zu finden.

## 3.2 Sanitäreinrichtung

### 3.2.1 Einführung

Durch angepasste Sanitäreinrichtungen soll zum einen verhindert werden, dass sich Krankheiten ausbreiten können und zum anderen soll die knappe Ressource Wasser geschont werden. Deswegen wurden von vorneherein Toilettensysteme, die Wasser zum Spülen benötigen, ausgeschlossen. Das wäre in einem semi-ariden Gebiet Ressourcenverschwendung.

In den nächsten Unterkapiteln werden Komposttoiletten vorgestellt und alternativ noch eine einfache Latrine. Bei Komposttoiletten werden, wie der Name schon sagt, die menschlichen Ausscheidungen kompostiert und wiederverwendet z.B. in der Landwirtschaft als Dünger.

Bei der Planung spielen nicht nur konstruktive und finanzielle Faktoren eine Rolle, sondern vor allem sozial-kulturelle, z.B. die Gewohnheiten der Menschen, ob überhaupt die Technik einer Toilette bekannt ist, ob man sich hinsetzt oder in die Hocke geht, säubern sich die Menschen mit Toilettenpapier, Wasser oder Sand oder vielleicht auch gar nicht.

Gerade in ländlichen Gebieten, gehören Methoden wie das freie Defäkieren zum Alltag. Ein entsprechendes Hygienebewusstsein, muss hier erst noch geschaffen werden. Im Islam (auch in allen anderen Religionen) gibt es bestimmte Doktrinen, die den Umgang mit Wasser bzw. mit Fäkalien regeln. Der Koran schreibt z.B. vor, dass man sich nach dem defäkieren mit der linken Hand säubern soll, folglich gilt diese als ‚unrein‘ = haram. Muslime unterscheiden in allen Dingen zwischen ‚haram‘ (unrein) und ‚halal‘ (rein). So gelten z.B. Fäzes von Mensch und Tier, sowie Menstruationsblut als unrein. (Peuser, 2009, S. 33)

Die Wahrscheinlichkeit, dass man bei der Bevölkerung auf Widerstand stößt, ist groß, da Komposttoiletten den Blick auf die Fäkalien frei lassen. Weiter können sich die Nutzer sicher nur schwer vorstellen, dass sie ihre ‚reinen‘ Lebensmittel mit ‚unreinen‘ menschlichen Ausscheidungen düngen sollen.

Die späteren Nutzer sollten auf jeden Fall bei der Planung mit einbezogen werden und für das spätere System sensibilisiert werden, ansonsten kann es passieren, dass die Menschen sich weigern die neue Toilette zu benutzen. In faecophoben<sup>7</sup> Gesellschaften wie im ländlichen Raum des östlichen, meist muslimischen Äthiopiens sind Themen die ‚unter die Gürtellinie gehen‘ nach wie vor ein soziales Tabu über die nicht gesprochen wird. Es

---

<sup>7</sup> faecophobe=gehemmter Umgang mit Fäkalien

muss erst geprüft werden, ob die Bevölkerung bereit ist das neue Toilettensystem zu akzeptieren.

### 3.2.2 Wiederverwendung von Urin und Fäzes

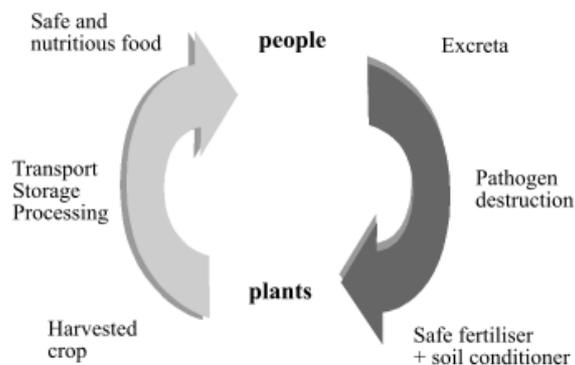
Betrachtet man den Anteil an organischem Kohlenstoff und den Nährstoffgehalt von Urin und Fäzes, so bieten diese eine nachhaltige und kostengünstige Möglichkeit der Düngung durch Nährstoffrückführung. Nutzpflanzen entziehen dem Boden Nährstoffe, die durch die Zuführung von Urin und Fäzes wieder ausgeglichen werden können. Urin und Fäzes enthalten die für Pflanzen notwendigen Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor, Kalium und organische Kohlenstoffe (s. Tab. 8). Phosphor unterstützt das Wurzelwachstum und schützt die Pflanze vor dem Austrocknen, macht sie härter. Kalium stärkt die Abwehrfähigkeit gegenüber Parasiten und Krankheiten. Stickstoff wird vor allem für das Wachstum benötigt. Aus dem Boden nimmt die Pflanze Stickstoff vorwiegend als Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) auf, in geringerem Maße auch als Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Die Aufnahme läuft generell über die Wurzel ab. Stickstoff bringt von allen Nährstoffen die stärkste Ertragsreaktion; daher wird er auch als Motor des Wachstums bezeichnet und als Bauelement von Chlorophyll und vielen Enzymen. Zwischen diesen drei Nährstoffen besteht eine Abhängigkeit, kein Nährstoff kann den anderen ersetzen. Nur bei ausreichendem Stickstoffgehalt im Boden können Pflanzen auf Kalium und Phosphor zurückgreifen. Fäzes enthalten im Vergleich zu Urin weniger Nährstoffe, sie sind aufgrund des hohen Phosphor- und Kohlenstoffgehalt interessant für die Rückführung. Zusätzlich trägt Fäzes zur Verbesserung der Bodenstruktur durch Steigerung der Wasser- und Nährstoffkapazität bei (H. Jönsson, 2004).

Element (g/ppd)	Urine	Faeces	Urine + faeces
Nitrogen	11.0	1.5	12.5
Phosphorous	1.0	0.5	1.5
Potassium	2.5	1.0	3.5
Organic carbon	6.6	21.4	30
Wet weight	1,200	70-140	1200-1400
Dry weight	60	35	95

**Tabelle 8:** Gehalt der wichtigsten Nährstoffe und organischem Kohlenstoff in Fäkalien (S.A. Esrey, 2000, S. 46)

Fäkalien stellen also ein natürliches Düngemittel dar, welches Künstlichen Dünger ersetzen kann, was wiederum die Umwelt schont. Die Produktion und Anwendung von künstlichem Dünger stellt eine große Umweltbelastung dar, sei es beim Abbau von Rohphosphaten und der damit einhergehenden Ausbeutung knapper Ressourcen oder der Eutrophierung und Verschmutzung des Grundwassers bei der Anwendung.

Im Gegensatz dazu birgt diese Rückführung aber auch erhebliche Risiken, denn Fäkalien enthalten eine Vielzahl von Pathogenen die vor dem Aufbringen aufs Feld durch verschiedene Hygienisierungsmaßnahmen abgetötet werden müssen (s. Abb. 30).



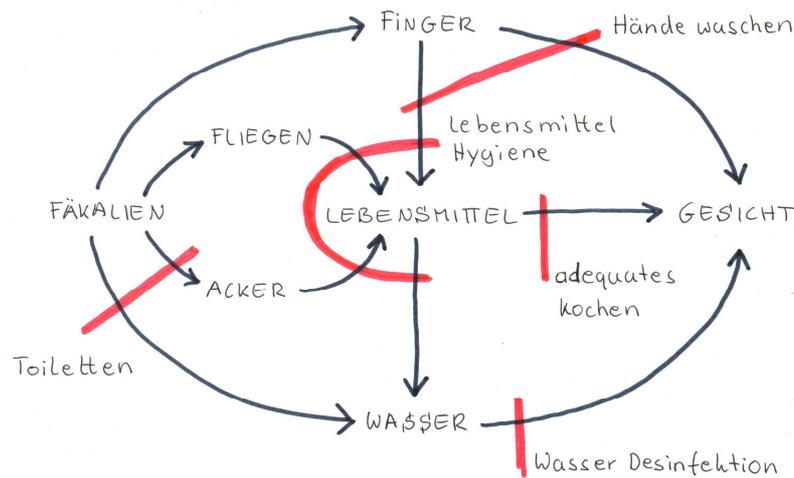
**Abbildung 30:** Kreislauf Fäkalien-Lebensmittel (S.A. Esrey, 2000)

### 3.2.2.1 Hygienisierung von Fäkalien

#### Fäzes

Menschliche Fäzes können eine Menge an Krankheitserregenden Organismen enthalten, wie Viren, Bakterien und Eier oder Larven von Parasiten (Protozoen), daher gelten sie aus medizinischer Sicht als sehr bedenklich. Durch beispielsweise offenes Defäkieren, welches in Hidmo praktiziert wird, gelangen die Mikroorganismen in den Körper. Entweder durch direkte Kontaktinfektion oder durch indirekte Kontaktinfektion, wie das Berühren von mit Krankheitserregern kontaminierten Gegenständen (z.B. Ess- und Kochutensilien) Diese Form der Übertragung nennt man Schmierinfektion, Ursache dafür ist meist mangelhafte Hygiene. Verrichtet man seine Notdurft im Freien, hat man meistens nicht die Möglichkeit sich genügend zu säubern und so gelangen beispielsweise krankheitsauslösende Stämme des Darmbakteriums *Escherichia coli* durch Hände oder durch damit zubereitetes Essen in den Körper vieler Menschen. Diese Darmbakterien sind verantwortlich für Diarrhoe, Bauchkrämpfe oder Erbrechen. Dafür besonders anfällig sind Kinder, da deren

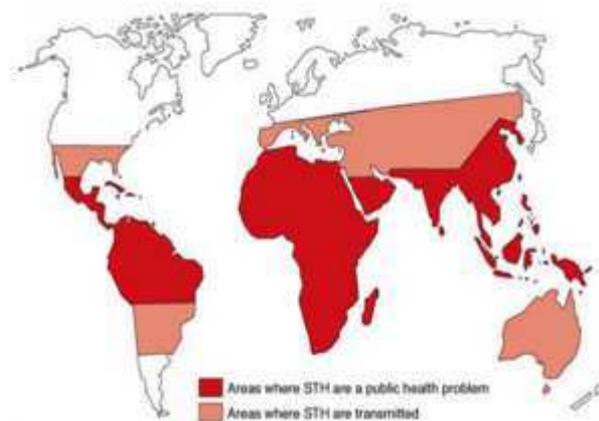
Immunsystem nicht so stark ist, wie das von Erwachsenen und das zusätzlich oft geschwächt wird durch einseitige Ernährung. Außerdem spielen Kinder im Freien und kommen so viel eher in Berührung mit menschlichen Ausscheidungen. (B. Wisner, 2002, S. 127) Die vielen Wege der Infektion werden veranschaulicht in Abb. 31, in rot sind Barrieren eingetragen welche diese unterbinden.



**Abbildung 31:** Wege der Krankheitsübertragung durch Fäkalien (vgl. Boot, 2007, S. 1)

Es gibt eine Vielzahl weiterer Krankheiten die sich auf diesen Wegen Verbreiten, dazu gehören unter anderem Cholera und Typhus. Viele Fliegen, die in Fäzes brüten, erhöhen das Risiko einer Bindehautentzündung und *Shigella Dysenteriae*<sup>8</sup>. Wo offenes Defäkieren verbreitet ist und die Menschen barfuß laufen, können sich Darmwürmer sehr schnell verbreiten. Diese können Anemie und Mangel- bzw. Unterernährung hervorrufen, was die Menschen wiederum anfälliger für andere Erkrankungen macht. In Regionen wie der Afar haben die Menschen oft mit dem Problem der Mangel- oder Unterernährung zu kämpfen, weshalb ein Parasitenbefall (Protozoeninfektion) unter Umständen tödlich ausgehen kann. Man schätzt, dass ungefähr eine Milliarde Menschen von Spulwürmern (s. Abb. 33) befallen sind und 700 Millionen von Hakenwürmern (WHO) (s. Abb. 32).

<sup>8</sup> *Shigella Dysenteriae* = umgangssprachlich Bakterienruhr oder Shigellose, 160 Mio. infizierte jährlich, 1 Mio. sterben.



**Abbildung 32:** Globale Verteilung von Wurmerkrankungen, die über den Boden übertragen werden. (Ariane Krause, 2011, S. 11)



**Abbildung 33:** Spulwürmer, weibliche Tiere können bis zu 40cm lang werden

Eine Liste mit allen Pathogenen die in Fäzes vorkommen und die Krankheiten die diese auslösen können, findet sich im Anhang 2, diese wurde aus ‚Guidelines for the safe use of urine and faeces in ecological sanitation systems von Schönning und Stenström‘ entnommen.

Folgende Tabelle zeigt Faktoren die Pathogene abtöten können:

Temperatur	Die meisten Mikroorganismen weisen einen Toleranzbereich von unter 5 °C bis etwa 40-50 °C auf. Damit kann das Abtöten der meisten Pathogene, bis auf Bakteriensporen und einige Viren sowie Wurmeier, bei Temperaturen von 55-70 °C in wenigen Stunden gewährleistet werden.
pH	Da die meisten Mikroorganismen an einen neutralen Bereich angepasst sind, kann, unter Berücksichtigung eines Toleranzbereichs, bei hohen pH-Werten von einer Inaktivierung der Organismen ausgegangen werden.
Ammoniak (NH <sub>3</sub> )	Die Zugabe von Ammoniak (z.B. umgesetzter Harnstoff), das natürlich von Bakterien produziert wird oder chemisch durch Hydrolyse entstehen kann, wirkt auf viele Organismen schädlich.
Feuchtigkeit	Bekannterweise favorisieren die meisten Mikroorganismen eine feuchte Umgebung. Durch eine Feuchtereduzierung kann damit auch ein Wachstum der Mikroorganismen verhindert oder deren Anzahl sogar reduziert werden.
Solarstrahlung / UV-Licht	UV-Licht reduziert die Zahl an pathogenen Stoffen. Bei Vergrößerung der Oberfläche der gelagerten Fäkalien kann von diesem Effekt profitiert werden.
Andere Mikroorganismen	Viele Organismen beeinflussen sich gegenseitig durch Prädation, Ausscheidung von antagonistischen Substanzen und Konkurrenz. Daher ist eine sterile Umgebung, das heißt eine Reduzierung anderen Mikroorganismen, vorzuziehen.
Nährstoffe	Viele Bakterien und Organismen der Darmflora, die an den Verdauungstrakt des Körpers angepasst sind, können, im Bezug auf knappe Nährstoffe, außerhalb des Körpers oftmals nicht mit anderen sich dort befindlichen Organismen konkurrieren. Ihre Wachstumsfähigkeit und Überlebensfähigkeit in der Umgebung kann dadurch stark eingeschränkt oder unterbunden werden.
Weitere	Sauerstoffverfügbarkeit, Partikelgröße, Durchlässigkeit, Chemikalien u.a.

**Tabelle 9:** *Physikochemische und biologische Faktoren die Pathogene abtöten können*  
(C. Schönning, 2004, S. 13) (Ariane Krause, 2011, S. 6)

Das größte Problem bei der Hygienisierung von Fäzes stellen resistente Wurmeier dar, sie können unter normalen Bedingungen teils über Jahre überleben.

Nachfolgend wird kurz auf angewandte Aufbereitungsmethoden eingegangen.

### **Austrocknung durch Lagerung**

Bei Austrocknung von Fäzes finden ein Teil der Prozesse aus Tabelle 9 statt. Der Erfolg in der Praxis ist variabel. Der pH-Wert, der Feuchtigkeitsgehalt, die Konkurrenz untereinander und die Umgebungstemperatur beeinflussen das Abtöten der Krankheitserreger, da diese Faktoren kontinuierlich variieren, variiert auch der Abtötungsprozess. In Bezug auf die Inaktivierung von Wurmeiern, insbesondere der resistentesten im Kot befindlichen *Ascaris* Wurmeier (=Spulwürmer), empfiehlt die WHO laut Tabelle 10 bei Umgebungstemperaturen von 2-20 °C eine Lagerungszeit von 1,5 bis 2 Jahren.

Treatment	Criteria	Comment
Storage; ambient temperature 2–20 °C	1.5–2 years	Will eliminate bacterial pathogens; regrowth of <i>E. coli</i> and <i>Salmonella</i> may need to be considered if rewetted; will reduce viruses and parasitic protozoa below risk levels. Some soil-borne ova may persist in low numbers.
Storage; ambient temperature >20–35 °C	>1 year	Substantial to total inactivation of viruses, bacteria and protozoa; inactivation of schistosome eggs (<1 month); inactivation of nematode (roundworm) eggs, e.g. hookworm ( <i>Ancylostoma/Necator</i> ) and whipworm ( <i>Trichuris</i> ); survival of a certain percentage (10–30%) of <i>Ascaris</i> eggs (≥4 months), whereas a more or less complete inactivation of <i>Ascaris</i> eggs will occur within 1 year.
Alkaline treatment	pH >9 during >6 months	If temperature >35 °C and moisture <25%, lower pH and/or wetter material will prolong the time for absolute elimination.

<sup>a</sup> No addition of new material.

**Tabelle 10:** *Empfohlene Lagerungszeiten im Bezug auf die Temperatur* (WHO, Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, 2006, S. 56)

Während des Austrocknens muss aus Hygienegründen ein direkter Kontakt unbedingt vermieden werden, es sollte immer geeignetes Werkzeug und Handschuhe benutzt werden.

### Kompostieren/Hot Composting

Will man den Gehalt an pathogenen Mikroorganismen in Fäzes verringern, ist thermophiles Kompostieren eine der zuverlässigsten Methoden. Aerobe Rottebakterien erzeugen Temperaturen von etwa 50 bis 55 °C, durch welche die Krankheitserreger abgetötet werden. Eine Temperatur von >50 °C ist für mindestens eine Woche zu halten. Sonneneinstrahlung während des Kompostierens hilft die Temperatur zu erhöhen. Um unerwünschte Faulungsprozesse zu vermeiden muss auf eine ausreichende Luftzufuhr geachtet werden.

### Basische Behandlung

Pathogene Organismen bevorzugen einen neutralen pH-Wert, so um die 7. Bei pH-Werten von über 9 werden die meisten davon innerhalb von sechs Monaten eliminiert. Eine weitere Erhöhung des pH-Wertes von bis zu 12 und hohe Temperaturen von 55 bis 70 °C verringern diese Verweilzeiten drastisch. Durch Zugabe von Asche, Kalk oder Urin können diese pH-Werte erreicht werden (auch eine Gemisch aus Sand und Kalk kann helfen). Diese Zuschläge schmälern außerdem den Gestank und bedecken die Ausscheidungen, was wiederum das Risiko von Fliegen mindert. Nicht zuletzt ist es einfach ästhetischer, wenn man nicht direkt auf die Ausscheidungen anderer guckt. Nach jedem Defäkieren sollten Fäzes mit einem von diesen Materialien bedeckt werden.

## Urin

Urin ist im Vergleich zu Fäzes aus medizinischer Sicht relativ unbedenklich und bakteriologisch steril, außer in Gebieten wo die Blasenbilharziose verbreitet ist. Diese Wurmerkrankung wird verursacht durch den Erreger *Schistosoma haematobium*, der vornehmlich die ableitenden Harnwege und die Harnblase befällt und dessen Eier mit dem Urin ausgeschieden werden. (B. Wisner, 2002, S. 1)

Im Urin befinden sich die meisten Nährstoffe, sein Stickstoffgehalt ist sehr hoch, was ihn zu einem wertvollen Dünger macht. Frischer Urin ist geruchslos, erst nach wenigen Tagen wird der Harnstoff in Ammonium/Ammoniak umgewandelt womit die typische Geruchsbelästigung einhergeht.

Die Aufbereitungsmethoden für Urin sind, aufgrund seines geringen pathogenen Gehalts, viel einfacher.

Lagerung ist, bis jetzt, die einzige Aufbereitungsmethode die weitgehend verbreitet ist.

In dieser Zeit wird der Urin hygienisiert und nicht-pflanzenverfügbarer Harnstoff in pflanzenverfügbaren Stickstoff umgewandelt. Die Lagerung sollte unverdünnt erfolgen, dadurch wird ein höherer pH-Wert erzielt und Pathogene werden schneller abgetötet. Auch hier ist, wie bei Fäzes, eine hohe Temperatur von Vorteil. Laut Tabelle 11 ist eine Lagerungszeit von 6 Monaten ausreichend um alle möglichen Pathogenen zu eliminieren.

**5.3 Recommended storage times for urine mixture<sup>a</sup> based on estimated pathogen content<sup>b</sup> and recommended crops for larger systems<sup>c</sup>**

Storage temperature (°C)	Storage time (months)	Possible pathogens in the urine mixture after storage	Recommended crops
4	≥1	Viruses, protozoa	Food and fodder crops that are to be processed
4	≥6	Viruses	Food crops that are to be processed, fodder crops <sup>d</sup>
20	≥1	Viruses	Food crops that are to be processed, fodder crops <sup>d</sup>
20	≥6	Probably none	All crops <sup>e</sup>

<sup>a</sup> Urine or urine and water. When diluted, it is assumed that the urine mixture has a pH of at least 8.8 and a nitrogen concentration of at least 1 g/l.

<sup>b</sup> Gram-positive bacteria and spore-forming bacteria are not included in the underlying risk assessments, but are not normally recognized as a cause of any infections of concern.

<sup>c</sup> A larger system in this case is a system where the urine mixture is used to fertilize crops that will be consumed by individuals other than members of the household from whom the urine was collected.

<sup>d</sup> Not grasslands for production of fodder.

<sup>e</sup> For food crops that are consumed raw, it is recommended that the urine be applied at least one month before harvesting and that it be incorporated into the ground if the edible parts grow above the soil surface.

**Tabelle 11:** *Empfohlenen Lagerungszeiten für Urin (WHO, Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, 2006, S. 56)*

### 3.2.3 Trenn-toiletten

In Trenn-toiletten werden die menschlichen Ausscheidungen, Fäzes und Urin, getrennt und separat gesammelt. Der anfallende Urin wird dabei isoliert gespeichert und kann nach einer Lagerungszeit von mindestens einem Monat als Dünger, abgestimmt auf den jeweiligen Anwendungsfall, verwendet werden. Der hygienisierte Kot ist frei von pathogenen Keimen und Viren und kann als Bodenverbesserer genutzt werden. Trenn-toiletten benötigen keine elektrische Energie oder anderweitige Hightech-Komponenten. Die benötigten Baumaterialien sind vor Ort vorhanden und die örtliche Bevölkerung und die Mitarbeiter der Schule können aktiv in den Bau der Anlage mit eingebunden werden. Darüber hinaus kommen die Toiletten mit geringen Wartungsarbeiten aus.

Durch die Benutzung von Trenn-toiletten kann die Bevölkerung nicht nur Dünger gewinnen, sondern auch die Ressource Wasser schonen, da Trenn-toiletten ohne Spülwasser betrieben werden. Des Weiteren ist es möglich, biologische Küchenabfälle und Gartenabfälle mit in der Kammer zu lagern und später als Dünger zu verwenden.

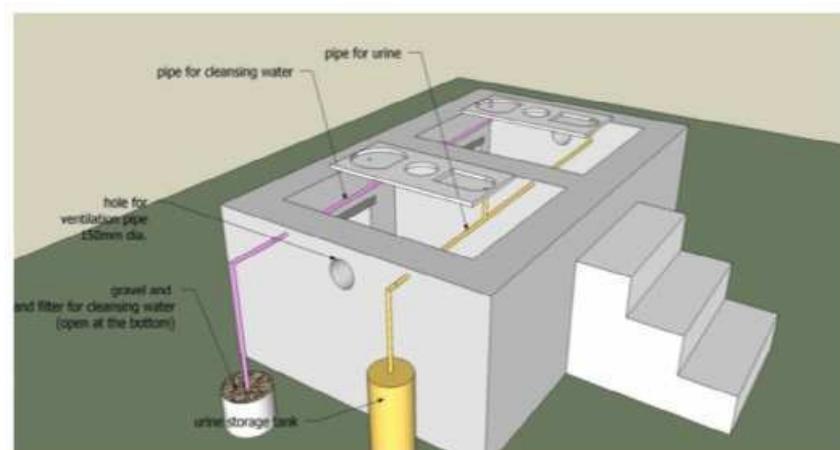
Die Regionalgruppe Aachen der Ingenieure ohne Grenzen e.V., hat Anfang 2011 in Ukunda, einem Ort in Kenia, ihr erstes Sanitärprojekt umgesetzt. Sie bauten für 180 Schüler, acht Trenn-toiletten (s. Abb. 34/35). Diese Trenn-toiletten sind geteilt in zwei Module. Das Haus für die Mädchen hat vier Trenn-toiletten mit dem Doppelkammerprinzip, zwei davon sind zusätzlich mit muslimischen Waschstellen versehen. Der Jungenkomplex hat drei Kabinen, wovon zwei mit muslimischen Waschstellen ausgestattet sind und eine Kabine mit drei Urinalen. Daneben befindet sich noch eine behindertengerechte Toilette mit normaler Sitzschale und auf Bodenniveau. Es wurden Hockeinsätze verwendet, da in Kenia das Hocken üblich ist. Der Urin wird über zwei Sammelrohre in vier ca. 1m<sup>3</sup> große Kunststofftanks geleitet, die separat mit Ventilen verschlossen werden können (s. Abb. 36). Das Regenwasser der beiden großen Gebäude wird zentral in einem Tank gesammelt und zum Händewaschen verwendet (s. Abb 34). Der Unterbau wurde mit Steinen aus dem örtlichen Korallenboden gemauert (coral blocks), der Oberbau mit sog. Eco-Blocks, die ein Nut und Feder System haben und daher generell ohne Mörtel verbaut werden können. Die Idee der "Legosteine" hatte sich jedoch als sehr unbefriedigend herausgestellt (aufwändigeres Verlegen, schlechte Qualität). Die Urintanks und Leitungen sind aus PE (Franzen, 2011).



**Abbildung 34:** Frontansicht der Schultoiletten in Ukunda (Ingenieure ohne Grenzen, Aachen)



**Abbildung 35:** Rückansicht der Schultoiletten in Ukunda (Ingenieure ohne Grenzen, Aachen)



**Abbildung 36:** Schematische Darstellung der Urin- und Waschwasserleitung mit Sammel-tank  
(Foundation EcoSan Services, 2009, S. 23)

### 3.2.4 Otji-Toilette

Der namibische SODI<sup>9</sup> – Partner ‚Clay House Project‘<sup>10</sup> hat eine Trockentoilette entwickelt, die Otji-Toilette<sup>11</sup>, die bereits bei vielen Projekten erfolgreich implementiert wurde.



**Abbildung 37:** *Otji-Toiletten in Otjiwarongo (ClayHouseProject, Clay House Project)*

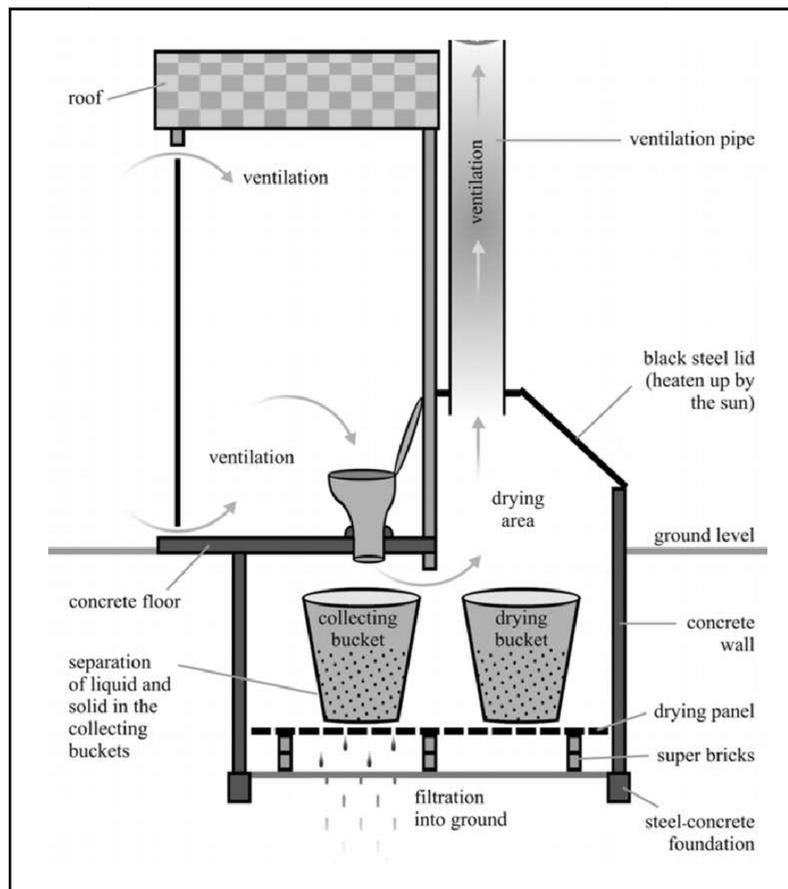
In dieser Toilette werden Urin und Fäzes nicht getrennt gesammelt. Unter der Toilettenschüssel oder dem Hockeinsatz befindet sich ein perforierter Container mit ca. 100 lit Fassungsvermögen, der flüssiges Material von festem trennt. Fäzes verbleiben im Container, während Urin durch eine perforierte Betonplatte im Boden versickert. Nach ungefähr 4-6 Monaten ist der Container mit Fäzes gefüllt und kann mit einem Haken oder Greifer in den Trockenbereich verschoben werden ohne dass man die Kammer betreten muss. Hier trocknet das feste Material komplett aus, wird entkeimt und verliert dabei an Volumen und Gewicht. Ein weiterer leerer Container wird wieder unter den Hockeinsatz gestellt. Wenn der zweite Container nach 6 Monaten voll ist, wird der erste Container geleert und die völlig ausgetrockneten Fäzes, können als Bodenverbesserer und Dünger in der Landwirtschaft oder im Nutzgarten aufgebracht werden.

---

<sup>9</sup> SODI=Solidaritätsdienst International e.V. NGO, leitet Selbsthilfeprojekte der Entwicklungszusammenarbeit und leistet humanitäre Hilfe in Asien, Afrika, Lateinamerika und Osteuropa

<sup>10</sup> Clay House Project= NGO aus Otjiwarongo, Namibia, fördern nachhaltige und ökologische Entwicklung, beispielweise durch den Bau von Lehmhäusern oder Trockentoiletten

<sup>11</sup> benannt nach der Stadt in der sie entwickelt wurde.



**Abbildung 38:** Funktionsschema der Otji-Toilet

(ClayHouseProject, The Otji-Toilet self builder manuel, S. 11)

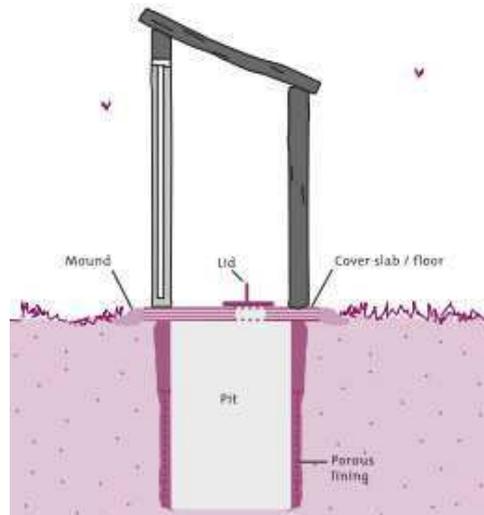
Die Sonneneinstrahlung erwärmt den Stahldeckel, der zur Sonne hin ausgerichteten Trockenbox und die so entstehende Hitze trocknet die Fäkalien aus. Dabei strömt die heiße Luft stets durch das Ventilationsrohr nach draußen, während die frische Luft durch die Toilettezelle nachströmt (s. Abb. 38). Durch diese Luftventilation werden Gerüche eingedämmt und die Ausbreitung von Fliegen wird verhindert (s. Kap. 3.2.5).

Die SuSanA<sup>12</sup> Organisation bezeichnet die Otji-Toilet als eine *“...sinnvolle, hygienische, Langzeit Lösung die für höheren Lebenskomfort sorgt, jetzt, und in der Zukunft.”*

<sup>12</sup> SuSanA= Sustainable Sanitation Alliance, Offenes Netzwerk mehrerer Organisationen für nachhaltige Sanitärversorgung

### 3.2.5 Latrinen

Traditionelle Latrinen bestehen lediglich aus einer kreisrunden oder eckigen Grube, die bedeckt ist mit einer Bodenplatte und einem Aufbau der angemessene Privatsphäre liefert. Die Bodenplatte besitzt ein Loch durch welches die Exkrememente in die Grube fallen, sie ist entweder aus Holz oder aus Beton. Zusätzlich sollte diese Fußauftritte besitzen, auf die der Nutzer seine Füße stellen kann um zu verhindern das Ausscheidungen auf der Platte landen. Das Loch in der Platte wird bedeckt von einem genau eingepassten Deckel aus Holz, der Gerüche reduziert und Insekten wie Fliegen fernhalten soll (s. Abb. 39).



**Abbildung 39:** Einfache Latrine (Francois Brikke, 2003, S. 105)

Die Gruben haben eine Weite von 1,5 bis 1,0m, die Tiefe variiert von 1,5 bis 5,0m, abhängig von Boden und Grundwasserverhältnissen. Liegt kein tragfähiger Boden vor, beispielsweise Sand vor, so muss die Grube ausgemauert werden. Latrinen sollten 15 bis 30m von Trinkwasserquellen entfernt stehen und 2m Abstand zum Grundwasserspiegel haben um eventuelle Kontaminationen zu vermeiden. Die Latrinen, wie alle anderen Toiletten auch, müssen täglich gereinigt werden (auch der Deckel und die Türgriffe). Asche oder Sägespäne können nach dem Defäkieren auf die Exkrememente gestreut werden um Gerüche und Insektenbrüten einzudämmen. Wasser zum Händewaschen muss bereit gestellt werden, beispielweise in einfachen Eimern. (WHO, 1996, S. 17-22)

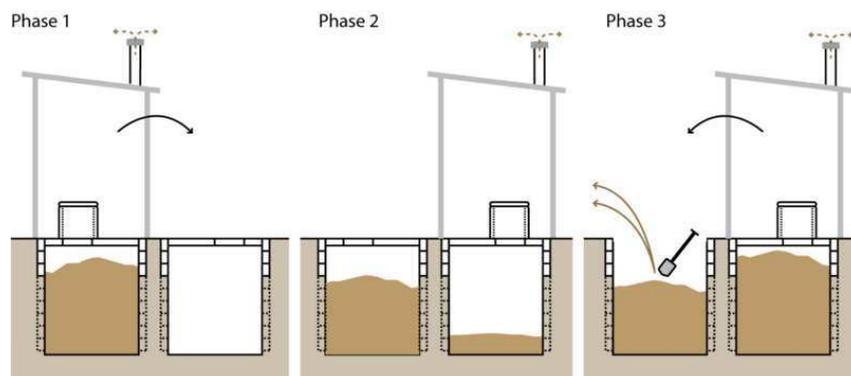
Ist die Latrine voll, gibt es mehrere Verfahrensmöglichkeiten:

1. Nach dem Verwenden, Baum pflanzen und neue Grube graben, Toilette wandert (s. Abb. 40)
2. Latrine mit mind. 50cm Erde auffüllen und neue Grube graben, Toilette wandert  
Vorsicht! 50cm bei der Grubenbemessung beachten

3. Gruben alternierend benutzen, in der anderen wird kompostiert. Entleerung der Grube erforderlich, wenn Kompost als Bodenverbesserer verwendet wird, 2 Jahre ruhen lassen (s. Abb. 41)



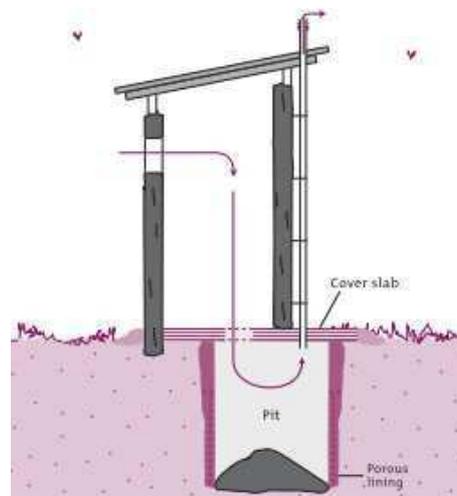
**Abbildung 40:** Latrine einmal verwendet (Wikimedia)



**Abbildung 41:** alternierende Latrine (Akvopedia)

Baut man traditionelle Latrinen hat man im Wesentlichen mit zwei Problemen zu kämpfen, zum einen mit der Ausbreitung von Fliegen und zum anderen mit Geruchsbelästigung. Installiert man aber ein Ventilationsrohr mit Fliegengitter an der Toilette kann man den Problemen Abhilfe verschaffen (s. Abb. 42). Die Funktionsweise ist die gleiche wie bei der Otji-Toilette im Kapitel 3.2.4. Der Hockeinsatz von Ventilierten Latrinen darf also nicht abgedeckt werden sonst funktioniert das Prinzip der Ventilation nicht.

Fliegen werden von Licht angezogen. Ist die Toilette von innen dunkel, werden die Fliegen versuchen das Ventilationsrohr hochzufiegen in Richtung Licht, dabei werden sie von dem Fliegengitter, welches am Ende des Rohres installiert ist, aufgehalten und sterben durch Dehydration. Weibliche Fliegen, die nach einer geeigneten Stelle zum Eierlegen suchen, werden von den Gerüchen aus dem Ventilationsrohr angezogen, aber durch das Fliegengitter aufgehalten.



**Abbildung 42:** *Ventilated Pit Latrine VIP* (Francois Brikke, 2003, S. 108)

### **Berechnungsbeispiel Latrine:**

Eine Grundschule mit 170 Schülern braucht Latrinen die mindestens 5 Jahre halten sollen. Bei 10 Latrinen sind das 17 Schüler pro Toilette.

Nimmt man an, dass  $0,06\text{m}^3$  Volumen (WHO, 1996, S. 19) gebraucht werden pro Person und Jahr, ergibt sich daraus ein benötigtes Volumen pro Latrine und Jahr von  $5,10\text{ m}^3$ .

Wenn die Gruben einen Durchmesser von  $1,50\text{m}$  haben, ergibt sich daraus eine Tiefe von  $2,88\text{m}$ . Addiert man  $0,5\text{m}$  für die Abdeckung der Grube mit Erde ergibt sich die endgültige Tiefe von  $3,38\text{m}$ .

Gewählt: 10 Latrinen,  $1,50 \times 3,50\text{m}$ .

### 3.2.6 Variantenauswahl

Nach eingehender Überlegung wurde die Otji-Toilette als beste Variante für die Grundschule in Hidmo ausgewählt. Diese stellt einen Kompromiss zwischen Trenntoiletten und ventilierten Latrinen dar. Trenntoiletten sind viel aufwendiger im Bau und somit die teuerste Variante. Sie benötigen Leitungssysteme für Urin und für Waschwasser sowie Plastik-tanks in denen der Urin gelagert wird und entsprechende Vorrichtungen um diese zu entleeren. Dadurch erfordern sie qualifiziertes Personal oder Nutzer und gutes Management. Diese Leitungen sind verstopfungsanfällig, wenn die Toiletten nicht korrekt benutzt werden und beispielsweise Fäzes mit Urin vermischt wird, gerade wenn Kinder die Toiletten benutzen. Ein entscheidender Faktor ist auch immer wieder die fehlende oder unzureichende Bildung der Menschen. Diese können sich den Düngungsprozess mit Urin nur schwer vorstellen. In Manyatta/Kenia haben sich die Bewohner gegen eine Düngung mit Urin ausgesprochen, weil sie davon ausgegangen sind, dass die Tomaten anschließend nach Urin schmecken. (Peuser, 2009, S. 43)

Einfache oder ventilerte Latrinen sind nicht dauerhaft und müssen wandern, dadurch benötigen sie viel Platz, ebenso alternierende Latrinen, sie sind im Vergleich aufwendiger in der Wartung, da die Gruben alle paar Jahre entleert und gesäubert werden müssen und der Aufbau umgesetzt werden muss. Auch aus hygienischer Sicht sind sie nicht zu empfehlen, da die Reduzierung von Pathogenen sehr viel geringer ist als bei der Otji-Toilette. Ebenso ist die Gefahr der Boden- und Grundwasserkontamination sehr viel höher. Bei starken Niederschlagsereignissen können die Latrinen geflutet werden und überlaufen was aus hygienischer Sicht katastrophal wäre.

Die Otji-Toilette ist die Benutzer- bzw. Kinderfreundlichste Toilette von allen, weil Urin und Fäzes nicht getrennt gesammelt werden. Gut konstruiert ist sie komplett geruchslos. Durch die hohen Temperaturen im Trocknungsbereich kann man eine gute Hygienisierung der Fäzes erwarten. Die Grundwasserspiegel sind im Afar Gebiet sehr niedrig, so dass keine Kontaminationen durch versickernde Flüssigkeiten zu erwarten sind. Auch preislich liegt diese Toilette im Mittelfeld und kann mit Materialien die vor Ort vorhanden sind gebaut oder auch angepasst werden. Die Otji-Toilette funktioniert laut Benutzern aus Otjiwarongo auch nach Jahren noch einwandfrei und sie kommt mit geringem Wartungsaufwand aus. Tägliche Reinigung reicht.

Näheres zur Konstruktion findet sich in Kap. 5, Konstruktionszeichnungen finden sich im Anhang 4.

## 4 Wasserwirtschaftliche Berechnungen

### 4.1 Wasserbedarf

#### 4.1.1 Hygiene

Der Wasserbedarf für hygienische Zwecke, wie Händewaschen setzt sich aus der Anzahl der Nutzer und des Bedarfs pro Tag zusammen. Laut SPHERE<sup>13</sup> werden pro Schüler und Tag 3 Liter für das Trinken und Hände waschen benötigt, weitere 1-2 Liter für Hände waschen nach dem Toilettengang bzw. zur Analwaschung nach dem Defäkieren.

#### Planning Guidelines for Minimum Water Quantities for Institutions and Other Uses

Health centres and hospitals	5 litres/out-patient 40-60 litres/in-patient/day Additional quantities may be needed for laundry equipment, flushing toilets, etc.
Cholera centres	60 litres/patient/day 15 litres/carer/day
Therapeutic feeding centres	30 litres/in-patient/day 15 litres/carer/day
Schools	3 litres/pupil/day for drinking and hand washing (use for toilets not included: see below)
Mosques	2-5 litres/person/day for washing and drinking
Public toilets	1-2 litres/user/day for hand washing 2-8 litres/cubicle/day for toilet cleaning
All flushing toilets	20-40 litres/user/day for conventional flushing toilets connected to a sewer 3-5 litres/user/day for pour-flush toilets
Anal washing	1-2 litres/person/day
Livestock	20-30 litres/large or medium animal/day 5 litres/small animal/day
Small-scale irrigation	3-6mm/m <sup>2</sup> /day, but can vary considerably

**Tabelle 12:** Minimaler Wasserbedarf öffentlicher Einrichtungen (SPHEREProject, 2011, S. 129)

<sup>13</sup> SPHERE ist eine Initiative von internationalen Nichtregierungsorganisationen, die zusammen Minimumstandards für humanitäre Hilfe - das SPHERE Handbook - ausgearbeitet haben.

## 4.1 Hygiene

Da das Trinkwasser aus einer vorhandenen externen Quelle bezogen werden soll, wird dies nicht berücksichtigt. Das gewählte Toilettensystem benötigt kein Wasser zum Spülen, somit kann auch dieser Aspekt vernachlässigt werden.

Es ist jedoch zu erwarten, dass über die Dachfläche nur wenig Wasser gesammelt werden kann. Deshalb wird hier der geringe Ansatz von 1,0 l/p/d gewählt, was unter anderen Umständen nicht vertretbar wäre. Zum Vergleich: für Schulen in Deutschland wird ein Mittelwert von 10 l/d/p angesetzt, wobei ein Großteil für die Toilettenspülung verbraucht wird (6-12 l pro Spülgang). (Mutschmann & Stimmelmayer, 2007, S. 32-34)

170 Schüler 5 Lehrkräfte	Nutzer:	175 P *
	Tagesbedarf	1,00 l/P/d
175 Personen	Gesamtbedarf	175 l/d bzw.
	Monatsbedarf	5,32 m <sup>3</sup> / mon
	<b>SUMME Bedarf Hygiene</b>	<b>63,9 m<sup>3</sup> / a</b>

Abbildung 43: Wasserbedarf für hygienische Zwecke

## 4.1.2 Bewässerungs-Wasserbedarf

Der Wasserbedarf hängt von der jahreszeitlichen Verteilung der Niederschlagshöhe  $N$  (mm) und dem Pflanzenwasserverbrauch ab. Dieser wiederum ergibt sich aus der berechneten Evapotranspiration (=klimabedingter Basiswasserbedarf) und den Pflanzeigenschaften (Mohn, Skript Landwirtschaftlicher Wasserbau, 2006, S. 3-20):

$$ET_c = k_c * ET_o$$

mit:

$ET_c$	Pflanzenwasserbedarf in [mm/d]
$k_c$	Pflanzenkoeffizient (Pflanzen- und Klimaspezifisch) [-]
$ET_o$	Basis-Wasserverbrauch = potenzielle Evapotranspiration in [mm/d]

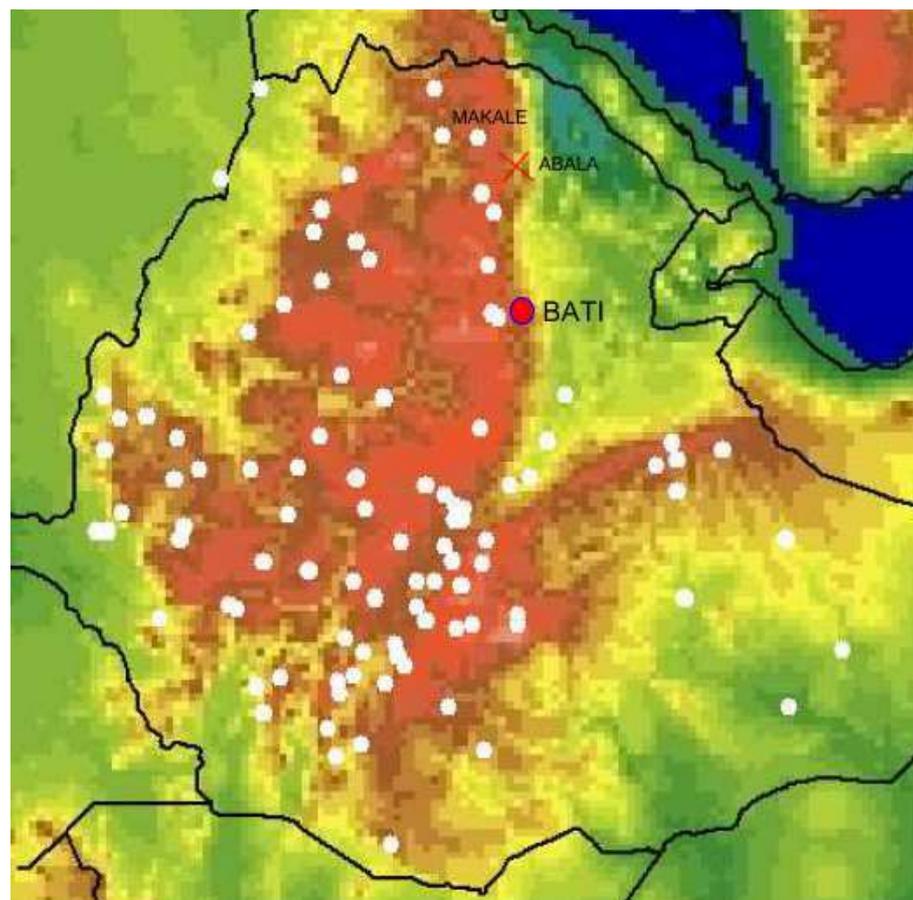
Bewässert werden muss immer dann, wenn die Verdunstungsrate den natürlichen Niederschlag übersteigt, was in semi ariden Gebieten in 9 Monaten der Fall ist. Die Evapotranspiration ( $ET_o$ ) ist die Summe aus Evaporation und Transpiration. Als Evaporation bezeichnet man die Verdunstung von Wasser aus Boden- oder Wasseroberflächen, als Transpiration die Verdunstung von Wasser aus der Pflanzenwelt. Sie hängt von der glo-

## 4.1 Hygiene

balen Einstrahlung, der Tageslänge, der Sonnenscheindauer, der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit und der Windstärke ab.

Es gibt verschiedene Verfahren zur Berechnung der ETo, diese unterscheiden sich im Daten- und Rechenaufwand. Da hier außer der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit keine gemessenen Daten vorliegen, wurde beschlossen den Pflanzenwasserbedarf mittels des Computerprogramms CROPWAT abzuschätzen.

Dieses Programm wurde von der FAO (Food and Agriculture Organization) entwickelt und basiert auf dem Verfahren von Penman – Monteith, einem weltweiten Standardverfahren mit dem man den Wasserbedarf ziemlich genau abschätzen kann. Desweiteren hat die FAO eine Datenbank namens CLIMWAT mit klimatischen Daten von über 5000 Stationen und 144 Ländern eingerichtet, die mit CROPWAT kompatibel ist. Wenn also, wie in diesem Falle, nicht genügend lokale Klimadaten vorhanden sind, kann man in CLIMWAT eine geeignete Station auswählen. Die folgende Abbildung 29 zeigt die Wetterstationen in Äthiopien, die zur Auswahl stehen.



**Abbildung 44:** CLIMWAT Stationen Äthiopien

Für den Standort Abala gibt es keine Station, deswegen musste auf eine andere Station zurückgegriffen werden, in diesem Fall BATI. BATI ist zwar weiter entfernt als andere Sta-

## 4.1 Hygiene

tionen, passt aber von der Höhenlage am besten und das ist in diesem Fall entscheidend, da sich das Klima mit zunehmender bzw. abnehmender Höhe stark verändert. BATI liegt auf 1660 m Höhe, während Makale, wesentlich näher an Abala, auf 2070 m Höhe liegt.

Diese Klimadaten wurden in CROPWAT noch einmal modifiziert. Die minimalen und maximalen Temperaturwerte sowie die relative Luftfeuchtigkeit wurden durch die gemittelten Werte von Abala (s. Kap. 2.4) ersetzt.

Damit wurde dann ETo berechnet, siehe folgende Tabelle

MONTHLY ETO PENMAN-MONTEITH DATA							
(File: C:\Program Files\CLIMWAT 2.0 for CROPWAT V2.0\support\polygons\Abala.PEM)							
Country: Ethiopia		Station: Abala					
Altitude: 1438 m.		Latitude: 13.00 °N		Longitude: 39.00 °E			
Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sun hours	Rad MJ/m <sup>2</sup> /day	ETo mm/day
January	16.0	28.0	62	138	9.0	19.8	4.09
February	17.0	29.0	61	164	9.0	21.3	4.69
March	17.0	29.0	59	164	8.0	21.3	4.89
April	17.0	29.0	59	138	8.0	21.9	4.86
May	18.0	32.0	48	181	8.0	21.6	5.70
June	19.0	30.0	41	199	7.0	19.8	5.72
July	16.0	29.0	60	173	5.0	16.9	4.42
August	17.0	29.0	64	138	6.0	18.6	4.32
September	18.0	29.0	64	112	7.0	19.8	4.36
October	17.0	29.0	60	104	8.0	20.2	4.27
November	17.0	29.0	59	104	8.0	18.7	3.93
December	16.0	29.0	60	147	8.0	17.9	4.02
Average	17.1	29.3	58	147	7.6	19.8	4.60

**Tabelle 13:** monatliche Evapotranspiration ETo

Danach wird mit ETo, der effektiven monatlichen Niederschlagshöhe und dem Pflanzenkoeffizienten  $k_c$ , ETC berechnet.

Die monatliche Niederschlagshöhe ergibt sich aus dem Referenzjahr für Abala (s. Kap. 2.4). Da in ariden Gebieten Niederschlagshöhen von weniger als 10 mm wirkungslos sind, werden in der praktischen Berechnung Abschläge von 20% gemacht.

## 4.1 Hygiene

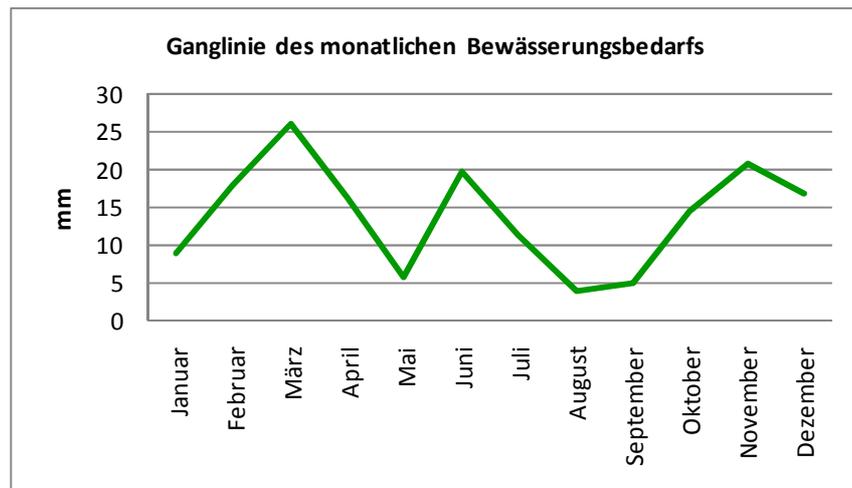
MONTHLY RAIN DATA		
(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\rain\abala.CRM)		
Station: Abala		
Eff. rain method: Effective rain is 80 % of actual rain		
	Rain mm	Eff rain mm
January	0.7	0.6
February	3.0	2.4
March	6.5	5.2
April	27.5	22.0
May	27.5	22.0
June	20.2	16.2
July	112.3	89.8
August	122.7	98.2
September	15.1	12.1
October	15.4	12.3
November	1.6	1.3
December	7.1	5.7
Total	359.6	287.7

Tabelle 14: effektive Niederschlagshöhe

Zur Bestimmung des Faktors  $k_c$ , der für jede Pflanze unterschiedlich ist und je nach Entwicklungsphase variiert wird zuletzt die angebaute Kulturart gewählt. Mit diesem Faktor wird die pflanzenspezifische Fähigkeit zur Transpiration berücksichtigt. In CROPWAT hat man die Möglichkeit aus mehreren Kulturarten auszuwählen. Hier wurde Mais gewählt, da Mais in der Afar Region eine bekannte Kultur ist und von Bauern zum Eigenbedarf angepflanzt wird. Außerdem hat Mais sehr geringe Anforderungen an den Boden, ist wärmebedürftig und weitestgehend selbstverträglich, weshalb die Maispflanze in der Hidmo School das ganze Jahr angebaut werden kann. Die ausführlichen Ergebnisse der Berechnungen können dem Anhang 3 entnommen werden.

erforderliche Bewässerungshöhe	h	1108,6 mm/a
Nutzgartengröße		150 m <sup>2</sup>
<b>SUMME Bedarf Bewässerungswasser</b>		<b>166 m<sup>3</sup>/a</b>

## 4.1 Hygiene



**Abbildung 45:** Wasserbedarf Bewässerung

Der Bewässerungswasserbedarf variiert von Monat zu Monat in Abhängigkeit der effektiven Niederschlagshöhe und der jeweiligen Entwicklungsphase des Mais, die über den  $k_c$  Faktor definiert wird. In Abbildung 45 kann man erkennen, dass 3 Anbauphasen simuliert wurden.

## 4.2 Wasserdargebot

Das Dargebot an Wasser ergibt sich aus den zu erwartenden abflußwirksamen Niederschlagshöhen und der Run-off Area bzw. der Dachflächengröße. Wie in Kap. 2.4 beschrieben, wird mit einem Jahresniederschlag von 359.6 mm gerechnet. Dieser wird wiederum mit einem Abflußbeiwert von 0,9 (verzinktes Wellblech) abgemindert. Es werden also 10% abgezogen für etwaige Verluste aus der Evaporation und dem Spritzwasser. (Thomas Martinson, 2007, S. 60) (Nissen-Petersen, 2007, S. 27).

$$Q_{zu} = A * h_N * \alpha \quad [m^3]$$

$h_N =$	359,6 mm/a	$Q_{zu} =$	77,67 m <sup>3</sup>
$A =$	240 m <sup>2</sup>		
$\alpha =$	0,9 -		

Abbildung 46: Wasserdargebot

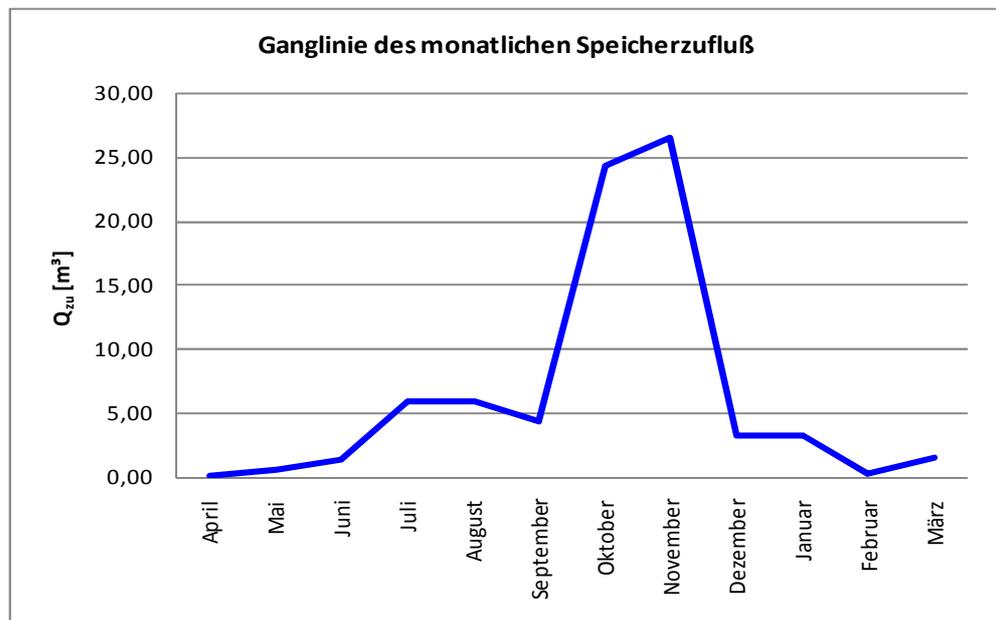
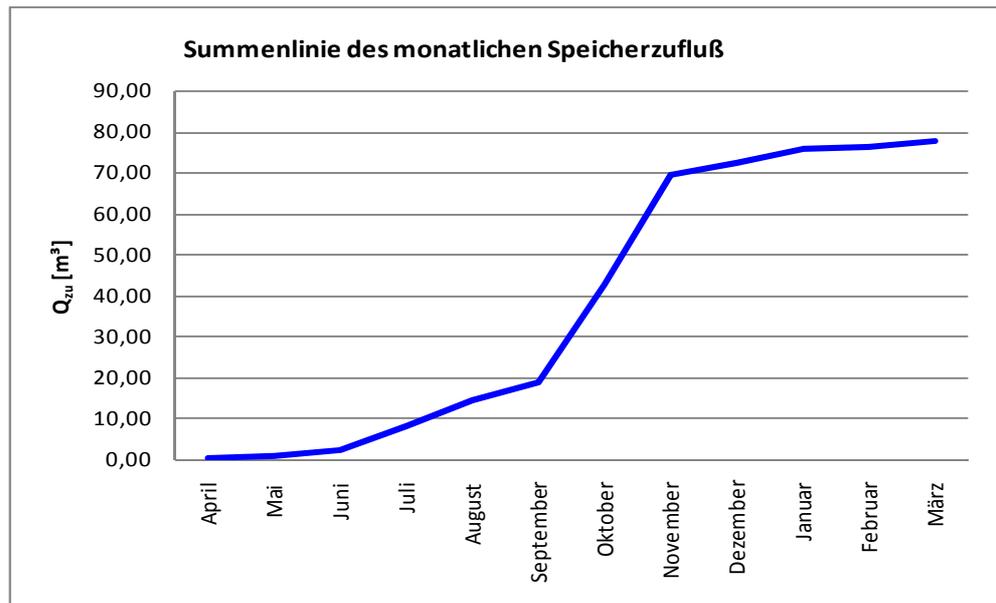


Abbildung 47: Ganglinie monatlicher Speicherzufluß



**Abbildung 48:** *Summenlinie Jahreszufluß*

### 4.3 Bilanzierung

Die Gegenüberstellung von Bedarf und Dargebot zeigt, dass es nicht möglich ist den Bedarf alleine durch die Zisterne zu decken (s. Abb. 49/50).

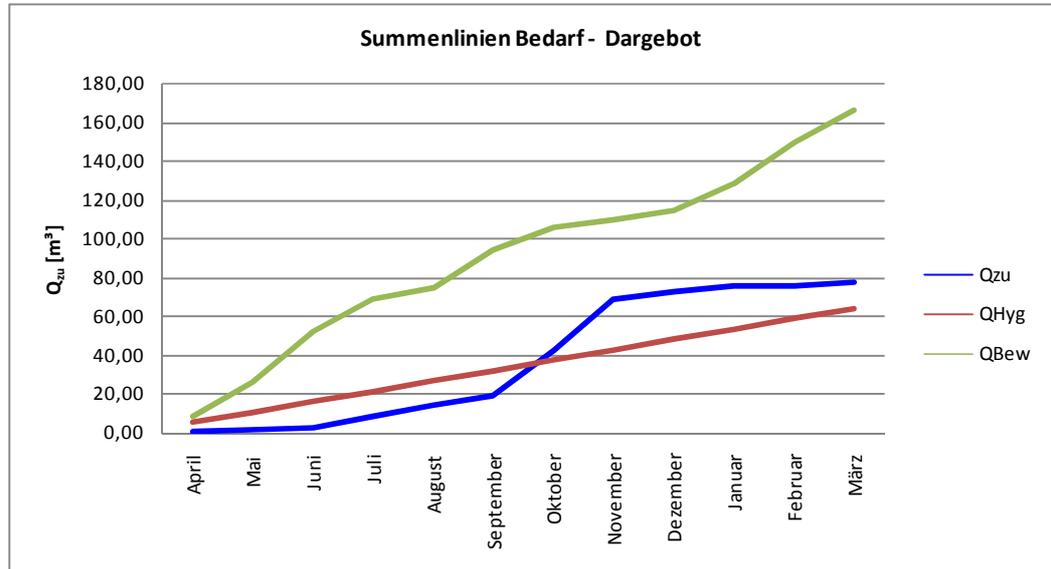


Abbildung 49: Summenlinie Bilanzierung Bedarf-Dargebot

$Q_{\text{bedarf}} = Q_{\text{bew}} + Q_{\text{hyg}} =$	$64 + 166 =$	$230,2 \text{ m}^3/\text{a}$
$Q_{\text{zu}} =$		$77,67 \text{ m}^3/\text{a}$
$Q_{\text{zu}} < Q_{\text{bedarf}}$	!!!	
$Q_{\text{zu}} > Q_{\text{hygiene}}$	OK	

Abbildung 50: Bilanzierung

Es ist also maximal möglich Wasser für hygienische Zwecke zur Verfügung zu stellen und dieser Aspekt hat absolute Priorität. Die geplante Zisterne kann demnach nur ein erster Schritt zur Versorgung der Schule sein. Für das Nutzgartenprojekt müsste ein weiterer Speicher geschaffen werden. Für die weiteren Speicherberechnungen der Zisterne wird deswegen nur  $Q_{\text{Hygiene}}$  angesetzt.

## 4.4 Speicher-Bemessung

**4.4 Speicher-Bemessung**

Die Speicher-Bemessung erfolgt mit dem Speicherbewirtschaftungsdiagramm nach dem Summenlinienverfahren. Mit dem Summenlinienverfahren werden Zufluss und Entnahme aufsummiert und im Diagramm dargestellt (s. Kap. 4.3). Damit kann eine Dimensionierung derjenigen Speicherkapazität (V) vorgenommen werden, die erforderlich ist, um einen Ausgleich vorzunehmen. Vorher wird ein Zeitabschnitt festgelegt, für den dieser Ausgleich stattfinden soll, hier 1 Jahr. (Mohn, 2004, S. 1-38)

Monate	Qzu	Qab	Vzu	Vab	Vzu - Vab
			$V_{zu,j-1} + Q_{zu,j} \cdot \Delta t$	$V_{ab,j-1} + Q_{ab,j} \cdot \Delta t$	
-	m <sup>3</sup> /Mon	m <sup>3</sup> /Mon	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
0	0	0	0	0	0
1	0,15	5,32	0,15	5,32	-5,17
2	0,65	5,32	0,80	10,64	-9,84
3	1,40	5,32	2,20	15,96	-13,76
4	5,94	5,32	8,14	21,28	-13,14
5	5,94	5,32	14,08	26,60	-12,52
6	4,37	5,32	18,45	31,92	-13,47
7	24,25	5,32	42,70	37,24	5,46
8	26,50	5,32	69,20	42,56	26,64
9	3,27	5,32	72,47	47,88	24,59
10	3,33	5,32	75,80	53,20	22,60
11	0,35	5,32	76,15	58,52	17,63
12	1,53	5,32	77,68	63,84	13,84
Σ	77,68	63,84			

V'zu	S1	S2	Ü	S3	V''zu
$V_{zu,j} - \text{MIN}(V_{zu} - V_{ab})$	$S0_{\text{erf}} + (V_{zu} - V_{ab})$				
m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /Mon	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
13,76	13,77	27,61		27,61	27,61
13,92	8,60	22,44	0,00	22,44	27,76
14,56	3,93	17,77	0,00	17,77	28,41
15,96	0,01	13,85	0,00	13,85	29,81
21,90	0,63	14,47	0,00	14,47	35,75
27,84	1,25	15,09	0,00	15,09	41,69
32,21	0,30	14,14	0,00	14,14	46,06
56,46	19,23	33,07	0,00	33,07	70,31
82,96	40,41	54,25	13,85	40,40	82,96
86,23	38,36	52,20	0,00	38,35	86,23
89,56	36,37	50,21	0,00	36,36	89,56
89,91	31,40	45,24	0,00	31,39	89,91
91,44	27,61	41,45	0,00	27,60	91,44

MAX (Vzu-Vab)	MIN (Vzu-Vab)	Serf	erf. Anf. füll.	vorh. Anf. füll.
m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	S0erf m <sup>3</sup>	S0vorh m <sup>3</sup>
26,64	-13,76	40,40	13,77	27,61

Tabelle 15: Speicherberechnung

## 4.4 Speicher-Bemessung

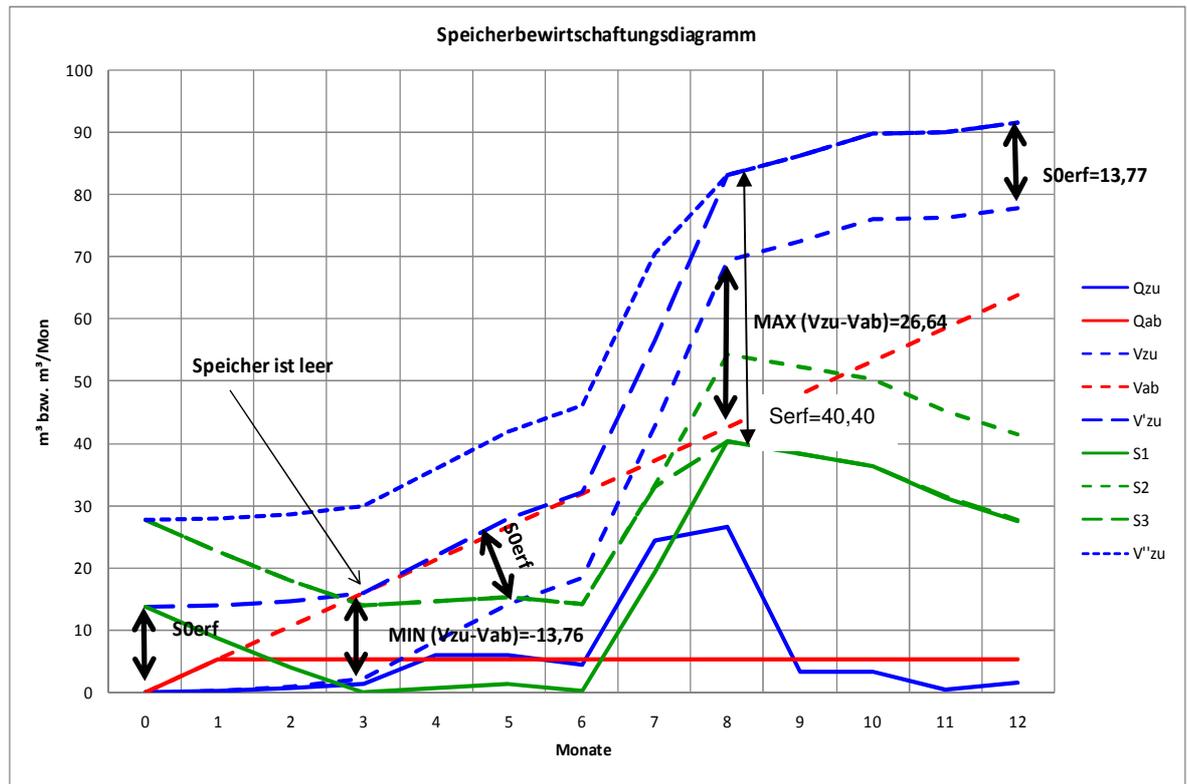


Abbildung 51: Speicherbewirtschaftungsdiagramm

Ziel der Erstellung des Speicherbewirtschaftungsdiagrammes ist es, den Speicher zu dimensionieren und die dauerhaft im Referenzjahr vorhandene Speicherfüllung zu ermitteln. Dazu wird zunächst nach Abtragen von  $V_{zu}$  und  $V_{ab}$  die minimale erforderliche Speichergröße berechnet. Dazu werden die Stellen im Diagramm betrachtet, die den größten vertikalen Abstand, im Positiven wie im Negativen, zwischen Zufluss- und Entnahmesummenlinie darstellen. Diese Abstände zusammen gezählt geben die minimal erforderliche Speichergröße an.

Da die Zufluss-Summenlinie die Abfluss-Summenlinie nicht unterschneiden darf ( $\rightarrow$  Bedarf wird nicht gedeckt) wird die Zufluss-Summenlinie parallel verschoben, bis sie die Abgabesummenlinie nur noch berührt, hier 13,77. Damit wäre der Speicher einmal komplett leer. Der Bedarf wird also gerade noch gedeckt. Der größte Abstand zwischen  $V_{ab}$  und  $V'_{zu}$  ist die minimale Speichergröße.

$$S_{erf} = MAX(V_{zu} - V_{ab}) - MIN(V_{zu} - V_{ab})$$

Für die Bedarfsdeckung wäre demnach eine Anfangsfüllung  $S_{0erf}$  von 13,77 m³ erforderlich. Diese ist am Ende des 1. Jahres vorhanden, da der Bedarf kleiner als der Zulauf ist. Die Speicherfüllungslinie in diesem Fall ist als S1 dargestellt. Als S2 wird dargestellt, wie die Speicherfüllung verläuft, wenn der Speicher ausreichend groß wäre, dann aber wäre

## 4.4 Speicher-Bemessung

der Speicher größer als erforderlich, was wiederum sehr unwirtschaftlich wäre. Daher werden die anfallenden Überläufe ermittelt. Ausgehend von dem dadurch verbleibenden Maximalstand wird nun die endgültige Speicherfüllungslinie S3 berechnet, die den vollgefüllten Stand betrachtet, immer genügend Wasser zur Deckung des Bedarfes bereitstellt und als fortlaufende Kurve im neuen Regeljahr mit dem Vorjahresendwert erneut beginnt.

Für das vorliegende Projekt stellt sich jedoch die Frage, ob die entstehenden Überläufe nicht besser genutzt werden könnten, da das vorrangige Ziel die sichere Versorgung der Schüler mit Wasser ist und mit einer Entnahme von  $1\text{l}/\text{d}/\text{p}$  sehr gering angesetzt wurde.

Deswegen wird eine Erhöhung der Speicherkapazität um die aus S2 ermittelten Überläufe in Höhe von  $13,85\text{m}^3$  vorgenommen. Damit kann man den Schülern bei einem vergleichsweise geringem Kostenmehraufwand eventuell eine verbesserte Versorgung zukommen lassen.

Das gewählte Speichervolumen beträgt also:

S erf	40,40 m <sup>3</sup>
S überlauf	<u>13,85 m<sup>3</sup></u>
Σ	54,25 m <sup>3</sup>
gew.	55 m <sup>3</sup>

**Abbildung 52:** Gewähltes Speichervolumen

## 5 Konstruktive Planung

Für die nächsten Kapitel bitte die Konstruktionszeichnung aus dem Anhang 4 zur Hand nehmen.

### 5.1 Dachfläche

Grundlage für das Funktionieren des Gesamtsystems ist das ordnungsgemäße Auffangen des Regenwassers. Es wird nach eingehender Beurteilung des vorliegenden Fotos angenommen, dass es sich beim Dachmaterial um verzinktes Wellblech mit glatter Oberfläche handelt. Dieses bietet eine gute Wasserqualität im Gegensatz zu Dachziegeln, Dachpappe oder organischem Material, wie Schilf, Stroh, oder ähnlichem. Der Abflussbeiwert des vorgefundenen Dachaufbaus liegt bei 0,85 - 0,9 (Martinson S.60).

Um die Funktion des Gesamtsystems sicherzustellen, ist zunächst das vorhandene Wellblech zu überprüfen. Fehlstellen sind zu dichten oder auszutauschen. Sollte sich herausstellen, dass kein ausreichend verzinktes Material verwendet wurde, so muss die komplette Dachfläche noch mit einem ungefährlichen, dickschichtigen Anstrich versehen werden. Die Ingenieure ohne Grenzen e.V. Regionalgruppe Berlin unter der Leitung von Tilmann Straub planten die Wasserversorgung der Baramba Girls Secondary School in Tansania, im Zuge dieses Projekt mussten auch die Dachflächen saniert werden (s. Abb. 53)



Abbildung 53: *Sanierung der Dachfläche* (Straub Ingenieure ohne Grenzen)

Die Dachfläche muss vor der Regenzeit überprüft und gesäubert werden. Auch während der Regenzeit ist das unbedingt erforderlich um die Wasserqualität so hoch wie möglich zu halten.

## 5.2 Dachrinnen und Fallrohre

Wesentlich für das Funktionieren des Roofwater Harvesting System ist die optimierte Ausbildung der Dachrinnen. Diese müssen in der Lage sein, die komplette Wassermenge aufzufangen und dann weiterzuleiten.

Die Grundschule von Hidmo ist in zwei direkt aneinander grenzende Gebäude mit jeweils einer Länge von 15m aufgeteilt (s. Abb. 6 in Kap. 2.1). Die gesamte Dachfläche beläuft sich auf 240m<sup>2</sup>, diese Dachfläche wird aufgeteilt in vier Teilflächen,  $a=60\text{m}^2$ , die jede für sich einzeln entwässert wird. Zum einen, weil es schwierig wäre den Höhenunterschied der beiden Gebäude auszugleichen und zum anderen, weil die Rinnen sonst eine durchgehende Länge von 30m hätten, was wiederum den Rinnenquerschnitt stark vergrößern würde, außerdem durch die große Spannweite konstruktive Probleme mit sich bringen würde. Die vier Dachrinnen werden entwässert durch jeweils ein Fallrohr. Die beiden Fallrohre des ersten Gebäudeabschnitts laufen im Erdreich parallel zum Gebäude weiter bis sie auf die Fallrohre des zweiten Gebäudeabschnitts treffen, dort wird der Abfluss in einem Rohr vereinigt und unter 45 Grad unterirdisch in die Zisterne geleitet. Durch die Weiterleitung des Abflusses im Untergrund wird verhindert, dass die Fallrohre beschädigt werden. Würden sie oberirdisch verlaufen, wäre die Gefahr größer, dass sie durch Wetterverhältnisse oder durch spielende Kinder Schaden nehmen.

Halbrunde Dachrinnen haben bei gleicher Nenngroße höhere Entwässerungsleistung als Kastenrinnen (Wassertiefe geht stärker ein als Rinnenbreite) sind aber auch schwieriger herzustellen. Deswegen werden hier Kastenrinnen vorgeschlagen, die kann man vor Ort aus Stahlblechen leicht in die Richtige Form biegen. Da die vorhandenen Niederschlagsdaten keine Rückschlüsse auf Einzelereignisse zulassen, können die Rinnen zu diesem Zeitpunkt nicht bemessen werden. Es sollte, wenn es zu einer Ausführung kommt, bei der örtlichen Wasserbehörde versucht werden Informationen darüber einzuholen. Hat man beispielsweise die Niederschlagsintensität eines Starkregenereignisses können die Rinnen und die Fallrohre nach *DIN EN 12056-3 Dachentwässerung, Planung und Bemessung* dimensioniert werden.

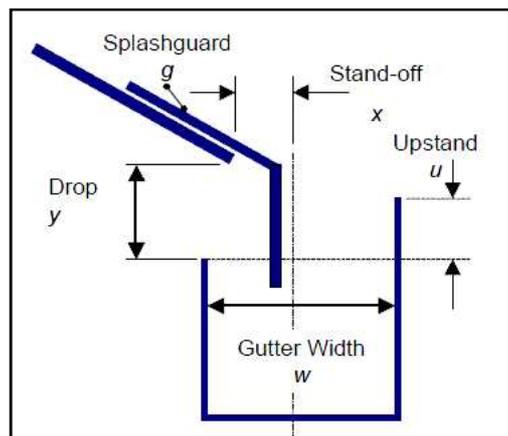
Hier wird zunächst gemäß Tabelle 16 eine Rinnenbreite von 100mm angenommen für vier Dachflächen  $a= 60\text{m}^2$ .

## 5.2 Dachrinnen

Area of roof served by one gutter (m <sup>2</sup> )	10	13	17	21	29	34	40	46	66
Semi-circular or trapezoidal gutter: recommended width in mm	50	55	60	65	75	80	85	90	100
Recommended down-pipe size (outside diameter in mm)	15	20	25	25	32	32	40	40	40

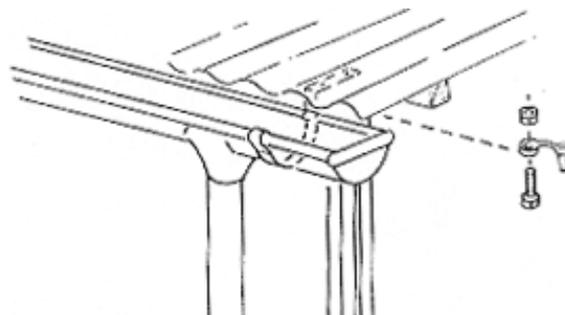
**Tabelle 16:** Empfohlene Dachrinnen- und Fallrohrgrößen (Thomas Martinson, 2007, S. 103)

Um zu verhindern, dass bei Starkregenereignissen Wasser über die Rinne hinauschießt wird zum einen die äußere Kante der Rinne hochgezogen (Upstand in Abb. 54) und zum anderen werden Leitbleche (Splashguards in Abb. 54) auf das Wellblech genagelt, die das Wasser aus den Riefen des Wellbleches in die Rinne drücken.



**Abbildung 54:** Optimale Dachrinnenausbildung (Still & Thomas, 2002, S. 8)

Weiter ist vor Ort zu prüfen, wie der Traufbereich ausgeführt wurde. Wahrscheinlich wird ein Traufbrett fehlen an dem man die Rinnen leicht befestigen könnte. Für diesem Fall ist zu prüfen ob die Rinnenhaken direkt unter oder über den Sparren genagelt werden können, man kann sie auch von unten an das Wellblech nageln (s. Abb. 55). Diese Rinnenhaken können vor Ort in die richtige Form gebogen werden.



**Abbildung 55:** Rinnenhaken von unten an das Wellblech genagelt (bromet)

Eine günstigere Variante wäre die Dachrinnen mittels verzinktem Draht direkt am Leitblech zu befestigen. Hierzu wird der 3mm dicke Draht in die rechte Form gebogen und am Leitblech festgebunden.



**Abbildung 56:** Dachrinnen fixiert am Leitblech (Nissen-Petersen, 2007, S. 24)

Schaut man sich Abbildung 56 an, kann man sich vorstellen, dass es sich um eine eher instabile Konstruktion handelt, die bei starkem Wind hin und her geweht werden kann.

Man kann beide Konstruktionsvarianten kombinieren, so würde man weniger Rinnenhaken benötigen und die Konstruktion wäre trotzdem in sich stabil.

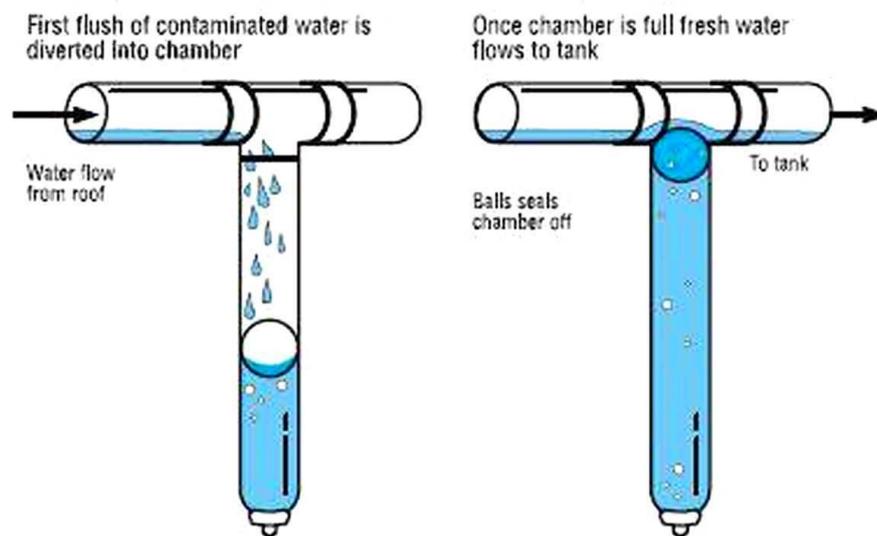
Um zu verhindern, dass die Dachrinnen überlaufen, müssen diese Gefälle aufweisen. Bewährt hat sich ein Gefälle von 1%. Die so erreichte Fließgeschwindigkeit ist hoch genug, dass kein Wasser durch Überlaufen verschwendet wird, zusätzlich werden so Verunreinigungen mit dem Abfluss transportiert, die dann im Filter hängen bleiben. So können diese die Dachrinnen nicht blockieren. (Nissen-Petersen, 2007, S. 24)

Größer sollte das Gefälle nicht sein, da sonst der Höhenunterschied zwischen Dachkante und Rinne am Ende zu hoch wird und nicht mehr alles Wasser aufgenommen werden kann. Es ist penibel darauf zu achten, dass Dachrinnen keine Beulen haben, in diesen Beulen sammelt sich nach einem Niederschlagsereignis Wasser, was wiederum die Anopheles Mücke zum brüten einlädt.

Vor der Regenzeit müssen die Dachrinnen und Fallrohre auf Schäden überprüft und gesäubert werden. Während der Regenzeit müssen die Dachrinnen und Fallrohre nach jedem Regenereignis gesäubert werden.

### 5.3 Filtersystem

Grundsätzlich gilt, vorher filtern ist besser als nachher! Zur Verbesserung der Wasserqualität werden an allen Fallrohren ‚First Flush‘ Systeme vorgeschaltet. Diese nehmen den ersten Abfluss auf, worin auch der größte Anteil an Verunreinigungen von Dachflächen und Regenrinnen enthalten ist. Durch den eingebauten „Pfropfen“ verschließt sich das System nach Aufnahme der definierten Wassermenge und der restliche Abfluss wird dem System zugeführt. Das im First Flush enthaltene Wasser entweicht nach und nach durch eine kleine Entwässerungsöffnung, so dass der nächste First Flush wieder aufgenommen werden kann.



**Abbildung 57:** *First Flush (rainwater harvesting)*

Das First Flush Volumen ist abhängig vom Grad der Verschmutzung, vom Dachmaterial und vom Verwendungszweck des Wassers. Der Verschmutzungsgrad lässt sich an der Trübung des Abflusses erkennen, diese kann aber nur vor Ort gemessen werden. Laut Martinson, kann anhand der gemessenen Trübung und einer maximal festgelegten Trübung des Abflusses der in den Speicher gelangt, festgelegt werden wie viel mm Niederschlag abgeschieden werden.

Der ‚Texas Guide to Rainwater Harvesting‘ empfiehlt als Faustformel, dass 10 Gallonen Wasser pro 1000 square feet abgetrennt werden sollten (Texas Water Development Board, 1997, S. 8). Dies entspricht in etwa 0,4lit/m<sup>2</sup>.

In der herrschenden Literatur wird vertreten, dass je nach Verunreinigung 0,2 bis 2mm abzutrennen sind. Kelly Doyle untersuchte im Rahmen ihrer Masterthesis am Massachusetts Institute of Technology (MIT) *“Sizing the First Flush and its Effect on the Storage-Reliability-Yield Behavior of Rainwater Harvesting in Rwanda”* diverse Roofwater Harves-

tig Systeme in Ruanda. Aufgrund der hieraus gewonnen Erkenntnisse empfiehlt sie die Abtrennung eines Volumens von  $1\text{mm}/\text{m}^2$  (Doyle, 2008, S. 85).

Für die Grundschule von Hidmo würde das bedeuten, dass bei einer  $60\text{m}^2$  Dachfläche ein „First Flush“ Volumen von  $0,06\text{ m}^3$  benötigt wird. Mit einem Fallrohr DN 150 und einer Länge von  $3\text{m}$  wird ein Volumen von  $0,053\text{ m}^3$  erreicht, was als adäquat erachtet wird, da mit gezinktem Wellblech gutes Dachmaterial vorausgesetzt werden kann und das Wasser nur für hygienische Zwecke verwendet wird. Rechnet man mit  $0,4\text{lit}/\text{m}^2$  würde lediglich ein Volumen von  $0,024\text{m}^3$  benötigt.

Unter diesen First Flush Rohren sollte eine kleine Grube ausgehoben werden die mit Kies gefüllt wird, ungefähr dem First Flush Volumen entsprechend. Dies soll die Versickerung des Wassers ermöglichen.

Die First Flush Rohre müssen regelmäßig gereinigt werden. Dazu sollte der Boden der Rohre abschraubbar ausgeführt werden.

Neben der Montage der vorgenannten First-Flush-Systeme werden am Übergang Dachrinne zu den Regenfallrohren grobe Maschensiebe mit einer Maschenweite von  $5\text{mm}$  aus rostfreiem Stahl installiert, die grobe Verschmutzungen zusätzlich aussortieren. Am Fußpunkt des Fallrohres wird ein weiteres feineres Sieb mit einer Maschenweite von  $0,3\text{mm}$  installiert, um die Wasserqualität weiter zu verbessern. Ebenso müssen zur Wartung des Filters an diesen Fußpunkten kleine Klappen installiert werden.

Sind keine Maschensiebe in den angegebenen Nennweiten zu bekommen, können auch Stoffe zum Filtern verwendet werden. Beispielsweise haben Experimente gezeigt, dass Musselin<sup>14</sup> mit einem  $1\text{mm}$  Gewebe, Partikel bis zu einer Größe von  $0,1\text{mm}$  zurückhalten kann (Thomas Martinson, 2007, S. 111). In Indien werden alte Saris zum Filtern von Wasser verwendet. In Nordafrika verwendet man Nylon Gewebe mit einer Maschenweite von  $0,15\text{mm}$ . Diese Stoffe, über eine kleine Stahlkonstruktion gebunden, können so leicht eingesetzt werden.

Zusätzlich wird in der Zisterne am Ende des Entnahmeschlauchs ein Ansaugfilter eingesetzt, der die Wasserqualität weiter verbessert (s. Abb. 58).

Der Filter kann zum Beispiel aus einem Stück PE-Rohr größeren Durchmessers erstellt werden, in das eine Vielzahl von Löchern gebohrt wird. Soweit das regelmäßige Waschen sichergestellt ist, kann dieser Filter zus. mit Stoff ummantelt werden, um auch feinere Verschmutzungen in der Zisterne aus der Wasserleitung herauszuhalten.

---

<sup>14</sup> Musselin= zartes, leichtes Gewebe aus sehr feinen, schwach gedrehten Baumwollgarnen in Leinwandbindung. (Brockhaus, 1950, S. 134)



**Abbildung 58:** Ansaugfilter der Fa. WISY

Die Deutsche Firma WISY ist auf Filtersysteme in Regenwassernutzungsanlagen spezialisiert und baut unter anderem First Flush Systeme und Ansaugfilter. Man könnte versuchen WISY auf dieses Projekt aufmerksam zu machen, vielleicht würde das Unternehmen sich bereit erklären dieses Projekt zu sponsern oder Filter Systeme zu spenden. Regulär liegen die Kosten solcher Filter bei 40 bis 100€.

Von der Verwendung eines Sandfilters im Anschluss an die Grundleitungen, vor dem Zufluss zur Zisterne wird abgesehen, da diese bei starken Regenfällen leicht überlaufen. Außerdem würde dazu weitere Systemhöhe benötigt, was bedeuten würde, dass Zisterne und Toiletten weiter vom Schulgebäude entfernt gebaut werden müssten.

## 5.4 Zisterne

Die Zisterne wird entsprechend dem Gefälleverlauf auf dem Schulgrundstück rechts vor dem Schulgebäude errichtet und aus den schon zuvor erläuterten Gründen als Ground Tank vorgesehen. Wie in den vorangegangenen Berechnungen ermittelt, reicht eine Zisterne mit einem Fassungsvermögen von ca. 55m<sup>3</sup> angesichts der vorhandenen Dachflächen und der zu erwartenden Niederschläge zur Speicherung aus. Die Zisterne wird mit einem lichten Durchmesser von 5,50m geplant. Größere Durchmesser würden aufwendigere Konstruktionen und Schaltechniken benötigen, um die Deckenschale tragfähig zu gestalten. Der Nachteil eingegrabener Zisternen liegt in der schlechteren Erreichbarkeit des Wassers. Es sind in der Regel Pumpen oder Abstiege zur Wasserentnahme erforderlich.

Beim vorgesehenen Projekt kann bei dem relativ starken Gefälle von geschätzten 10% allerdings auch mit einer etwa 50m langen Wasserleitung zu den auf tieferem Niveau gelegenen Toiletten gearbeitet werden. Lediglich für den sonstigen Bedarf in Schulnähe wird eine Handpumpe direkt durch den Deckel der Zisterne verlaufend vorgesehen. Die Sohle und die Deckenschale werden als Betonplatten erstellt. Die im Mittel 15cm mächtige Deckenplatte ist dabei gewölbt, um eine höhere Tragfähigkeit bei geringerem Materialeinsatz zu ermöglichen. Der Rand der Deckenplatte wird in größerem Querschnitt verstärkt ausgebildet. Diese Ringbalkenkonstruktion kann die Schubkräfte aus der gewölbten Decke aufnehmen. Die Sohle, die die anfallenden Gewichtslasten aus Zisternenkonstruktion und 55m<sup>3</sup> Wasserfüllung in den Baugrund ableiten muss, ist in einer Stärke von 18cm vorgesehen. Bodenplatte und Decke der Zisterne werden als bewehrter Beton ausgeführt. Dabei ist die Kombination von Stahlbewehrung und Bewehrung durch feinen Maschendraht vorgesehen, um den benötigten Stahl zu reduzieren. Die Wände der Zisterne sollen als Natursteinmauerwerk (Bruchstein) von etwa 30cm Stärke direkt gegen die Ränder der geschachteten Grube errichtet werden. Fugen werden beim Aufmauern vollfugig mit Zementmörtel verschlossen.

Dabei lässt sich die Zisterne mit einem relativ geringeren Aufwand erstellen, denn der hohe Wasserdruck insbesondere im unteren Drittel der Zisterne kann an das umgebende, sorgfältig verdichtete Erdreich abgegeben werden. Die Innenseite der Zisternenwände sollen mit einem dichtenden Zementputz versehen werden. Dieser sollte unter Ausbildung einer Hohlkehle bis auf die Bodenplatte geführt werden, um die Dichtigkeit in diesem Bereich sicherzustellen.

Die Bodenplatte ist trichterförmig zur Mitte hin abfallend ausgebildet. Hier schließt der Überlauf an, der unter dem Becken und seitlich davon das Wasser bis über die maximale

## 5.4 Zisterne

Befüllungshöhe der Zisterne führt. Durch die gewählte Konstruktion wird gewährleistet, dass anfallendes Sediment mit dem Überlauf entleert wird. Die Konstruktion der Zisterne ähnelt der eines runden Nachklärbeckens einer Abwasserreinigungsanlage, hier befindet sich der Schlammabzug auch am tiefsten Punkt des Gebäudes und das saubere Wasser wird von der Oberfläche entnommen.

Die Wasserqualität im Tank verbessert sich mit der Zeit. Kleine Partikel setzen sich am Boden ab und Bakterien sterben. Frisches Wasser welches in den Tank einläuft ist von minderer Qualität als das Wasser was schon länger im Tank ist, deswegen sollte verhindert werden, dass sich frisches Wasser mit altem mischt. Am besten kann man dies verhindern indem man das Einlaufrohr bis auf den Boden führt. Unter diesem Einlauf befindet sich ein Prallsockel der den abwärts fließenden Wasserstrom bricht, so wird vermieden, dass abgelagertes Sediment aufgewirbelt wird (s. Abb. 59).



**Abbildung 59:** *Prallsockel* (Thomas Martinson, 2007, S. 116)

Für den Abfluss aus der Zisterne wird eine Konstruktion gewählt, die sicherstellt, dass nur das sauberste Wasser, welches sich im oberen Bereich befindet, entnommen wird. An die in die Zisterne ragende Wasserleitung wird ein flexibler Schlauch montiert, der durch einen Schwimmer an der Wasseroberfläche gehalten wird. Am Ende dieses Schlauches soll ein Filter den Abfluss vor dem Durchdringen eventueller Schwebstoffe schützen. In Nähe des Wartungszuganges der Zisterne soll vom Boden zur Decke ein Draht oder ein Drahtseil gespannt werden. Damit wird der Schwimmer geführt, der so in Nähe und Sichtweite der Wartungsöffnung positioniert ist. Der Schwimmer soll den Filter am Ende des Abflussschlauches ca. 10cm unter der Wasseroberfläche halten um das einlaufen von Schwebstoffen die an der Wasseroberfläche schwimmen zu verhindern. Somit wird gewährleistet, dass nur das sauberste Wasser durch die Leitung fließt. Der Schwimmer kann alles sein was schwimmt, beispielsweise eine leere Wasserflasche.

Die Dicken der Wände und Decken basieren auf Erfahrungswerten aus anderen Projekten, falls es zu einer Ausführung kommt, sollten diese auf jeden Fall statisch nachgewiesen werden. Die Zisterne ist vor der Regenzeit zu reinigen und auf Schäden zu überprüfen.

## 5.5 Sanitäranlagen

Wie im Vorfeld bereits untersucht, wird die Otji Toilette als benutzerfreundlichste Lösung für die Schulkinder von Hidmo favorisiert.

Diese ermöglicht das Versickern der Flüssigkeiten, während die Feststoffe, welche auf Dauer die Sickergrube füllen würden, in perforierten Containern unter den Toilettenzellen gesammelt werden. Diese perforierten Container haben ein Fassungsvermögen von 100 Litern und sind aus Stahl oder Plastik. Zur Förderung des Kompostierens soll nach dem Toilettengang ein Sand-Kalk Gemisch oder Asche aus einem in der Toilette stehenden Eimer auf die Fäkalien gestreut werden. Für den Fall, dass Kalk nicht zu bekommen ist, sollen die Schüler Asche von zu Hause mitbringen. Da in Hidmo nach wie vor mit Feuer gekocht wird, ist diese reichlich vorhanden.

Neben dem Auffangcontainer stehen in der Grube zwei weitere Wechselbehälter, in denen die Feststoffe weiter getrocknet und zersetzt werden. Die Auffangbehälter stehen auf perforierten Betonplatten um den Trockenprozess zu unterstützen und die Versickerung zu ermöglichen.

Beim Gebrauch der Otji-Toilette wird vom Erfinder grundsätzlich von einer Benutzung durch max. ca. 10 Personen ausgegangen, dann werden nur 2 Container benötigt die im Abstand von 4-6 Monaten gewechselt werden. Für das Projekt wird der Bau von 2 x 5 Toiletten (m/w) für die 170 Schüler und die zusätzlichen Lehrkräfte vorgesehen, d.h. es benutzen im Schnitt 17 Schüler eine Toilette. Da es sich bei der Schule nicht um ein Internat handelt und die Kinder nur zur Schulzeit vor Ort anwesend sind, wird hier ein Volumen von  $0,03\text{m}^3$  (30lit) pro Schüler und Jahr veranschlagt. Pro Toilette und Tag ergibt sich daraus ein Volumen von 1,4 Liter was wiederum bedeutet das ein Container von 100 Litern in knapp 4 Monaten gefüllt ist. Deswegen werden für dieses Projekt 3 Container pro Toilette eingeplant, so erreicht man eine Lagerungszeit von 1 Jahr, die angesichts der vorherrschenden hohen Temperaturen und der Zugabe von Asche für ausreichend gehalten wird.

Durch die Anordnung des Trockenbereichs in Richtung Sonnenseite (hier Süden, nördlich des Äquators) und der schwarz lackierten Stahlabdeckung wird der Trockenprozess unterstützt. In das schwarz lackierte, 2,25m lange Lüftungsrohr aus Stahl wird ein Fliegengitter aus rostfreiem Stahl oder Aluminium mit einer Maschenweite von 1,4mm eingesetzt.

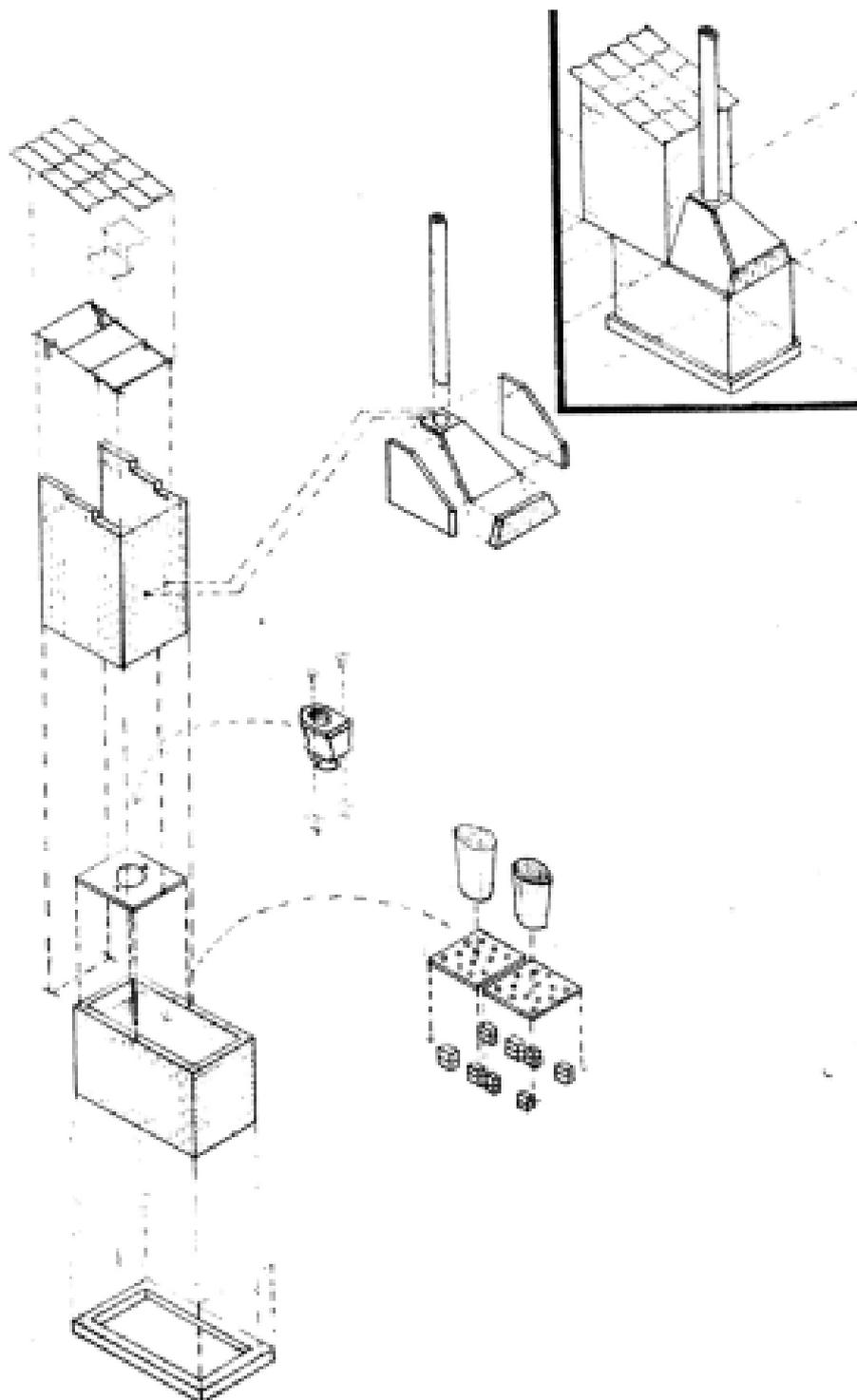
Die Otji-Toilette kommt im Normalfall mit einer Wartung alle vier Monate aus. Im Zuge dieser Wartung werden die Container gewechselt und entleert. Mit einem Greifer oder einem Haken können diese leicht verrückt werden. Bei diesen Arbeiten müssen Handschuhe getragen werden. Nach dem Entleeren müssen die Container mit etwas Wasser und einer Bürste gereinigt werden.

Die 10 Toiletten bieten eine Dachfläche von zusätzlich etwa 15m<sup>2</sup>. Diese Dachflächen werden gem. Zeichnung über Dachrinnen und Fallrohre mit einem zusätzlichen Wassertank mit 500 Liter Kapazität verbunden. Die Waschbecken zum Händewaschen nach Toilettenbenutzung werden direkt aus diesem Polytank versorgt. Für den Fall, dass diese Regentonne trocken fällt, ist der zusätzlich noch durch eine Leitung mit der Zisterne verbunden, die dann aufgedreht werden kann. Der Übergang Dachrinne Fallrohr wird mit einem groben Filter versehen. An den Fallrohren sind wie bei der Zisterne, kleine First Flush Systeme angeordnet, der Einlaufbereich des Poly tanks wird zusätzlich mit einem feinen Sieb versehen.

In jeder Toilette stehen zwei Eimer, einer ist gefüllt mit Asche oder dem Sand-Kalk Gemisch und der andere mit Wasser um sich nach dem Defäkieren zu säubern.

In der Mitte von beiden Toilettenkomplexen sind zusätzliche Wasserhähne angebracht, mit denen man die Wassereimer befüllen kann. Die Wasserhähne werden von der Zisterne gespeist, so wird sauberes Wasser garantiert.

Die untere Konstruktion der Trockenkammer sollte aus ordentlichen Steinen oder Klinker gemauert werden, dafür muss man sich vor Ort über die Verfügbarkeit informieren. Dieser Unterbau wird von einem Streifenfundament getragen (s. Abb. 60). Auf diesen Unterbau wird die Betondecke gelegt, die wiederum den Aufbau trägt, der nach vorne hin übersteht. Deswegen muss unter dem Teil der übersteht ein kleiner Fundamentstreifen betoniert werden sonst sackt der Aufbau weg. Der Aufbau kann auch aus selbst hergestellten Lehmziegeln o.ä. gemauert werden. Als Dachmaterial wird verzinktes Wellblech vorgesehen, zum einen bietet es gute Wasserqualität, und zum anderen ist es einfach zu verlegen. Die Tür kann aus allem sein, was örtlich zu bekommen ist, Holz oder Stahl, je nachdem was günstiger ist.



**Abbildung 60:** Die Otji Toilette in ihre Einzelteile zerlegt (ClayHouseProject, The Otji-Toilet self builder manuel, S. 10)

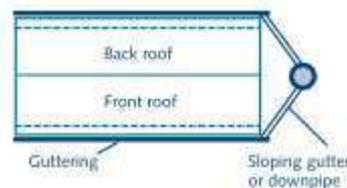
## 5.6 Alternativen

Falls das Gelände nicht den angenommenen Verhältnissen entspricht, also kein ausreichendes Gefälle aufweist, wird man ohne Pumpe keine Wasserleitung zu den Toiletten legen können. Eine Pumpe ist allerdings sehr teuer und immer auch einen Schwachpunkt im Falle eines Ausfalls und sich niemand mit der Wartung auskennt. Die andere Lösung wäre keine Leitung zu verlegen, dass würde außerdem auch noch Kosten sparen und der Sanitärkomplex könnte näher an die Schule heran gebaut werden. Er sollte allerdings mindestens 30m von einer Wasserquelle entfernt stehen, um Kontamination zu vermeiden. Das Wasser müsste dann von den Schülern in Eimern zu den Toiletten geschleppt werden, was eine zusätzliche Belastung darstellt (s. Abb. 61).



**Abbildung 61:** Toilette ohne Wasserleitung (susana)

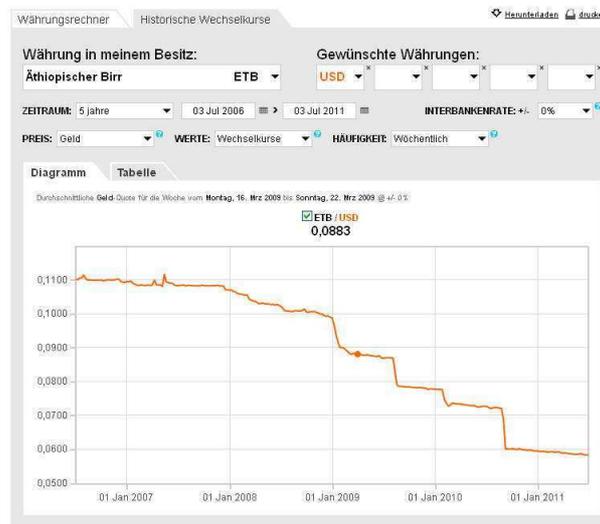
Falls auch die Zisterne nicht an dem ihr angedachten Ort stehen kann, könnte man alternativ zwei kleine Zisternen direkt vor die Giebel setzen und somit die zwei Gebäudekomplexe einzeln entwässern. Weiter kann man überlegen ob diese dann oberirdisch gespeist werden, dann spart man sich Kosten für Fallrohre. Von einem großen Tank ist wegen der 30 m langen Dachrinnen und dem Höhenunterschied der Gebäude abzuraten



**Abbildung 62:** Zisterne vor Giebel (Thomas Martinson, 2007)

## 6 Kostenschätzung

Wie die meisten Währungen der afrikanischen Entwicklungsländer ist auch der äthiopische Birr einer hohen Inflation unterworfen. So hat sich der Wert des Birr zum Dollar innerhalb der fünf Jahre von Juni 2006 bis Juni 2011 von etwa 0,011\$ auf ca. 0,058\$ nahezu halbiert (siehe Abbildung 63).



**Abbildung 63:** Währungsverlauf der letzten 5 Jahre (oanda.com)

Da die Leitwährung in Afrika nach wie vor der Dollar ist, ein Zeitraum für die Projektdurchführung nicht feststeht, und der erforderliche Kostenrahmen auch in einigen Jahren noch nachvollziehbar sein sollte, erfolgt die Berechnung der Kosten in Dollar. Somit lassen sich die Schwankungen, die alleine schon zwischen Dollar und Euro vorherrschen separat berücksichtigen.

**Abbildung 64:** Währungskurs Birr/Dollar 03/2007

**Abbildung 65:** Wechselkurs Birr/Dollar 07/2011

---

Die Kosten des Projektes werden auf Basis einer Kostenberechnung eines Grundwasserdammprojekts in Äthiopien aus dem März 2007 ermittelt. Hierzu werden vergleichend die aktuelleren Kostendaten aus einem Entwicklungshilfeprojekt in Tansania (Neubau eines Kinderdorfes in Kitwiru, Iringa, Tansania) herangezogen.

Die Gesamtkosten für die Nutzbarmachung belaufen sich gemäß der im Anhang 5 aufgeführten Kostenschätzung auf etwa 350.000 ETB, 20.500\$ bzw. 14.600€.

Dabei fällt auf, dass ein hoher Anteil der Kosten (etwa 31,5%) auf Lohn und Mobilität entfällt. Insbesondere die Mobilitätskosten (etwa 24,5%) stellen einen wichtigen Punkt dar, bei dem je nach vor Ort vorgefundenen Gegebenheiten Einsparpotentiale vorhanden sind.

Die Kosten für den Aushub bei dem Grundwasserdammprojekt Äthiopien erscheinen mit 13% sehr hoch. Wenn das Erdreich vor Ort verbleiben kann und hier keine Transportkosten anfallen lassen sich auch hier Einsparpotenziale realisieren.

Von den Baustoffen fällt der Stahl mit knapp 12% am meisten ins Gewicht. Hier könnte überprüft werden, ob die Umstände, wie Untergrund und tatsächlich anfallende Lasten sowie die vorgesehene Nutzungsdauer gegebenenfalls auch eine weniger tragfähige Konstruktion erstellt werden kann.

Ebenfalls einen hohen Anteil an den Kosten haben mit etwa 11 % die Dachrinnen. Hier ist ein Vergleichspreis für Kunststoffdachrinnen angesetzt. Je nach gewünschter Qualität der Ausführung und dem zu erwartenden Budget lassen sich mit einfacheren Bauarten, wie zum Beispiel den örtlich gekanteten Stahlblechrinnen mit einfacher Drahtaufhängung weitere erhebliche Einsparungen realisieren.

Aus den vorgenannten Bewertungen lässt sich schließen, dass sich unter positiven Gesamtumständen die Kosten reduzieren lassen. Die Kostenschätzung sollte als Antragsstand vor Projektbeginn angesehen werden, der noch Spielräume für Reaktionen auf unvorhergesehene Umstände lässt.

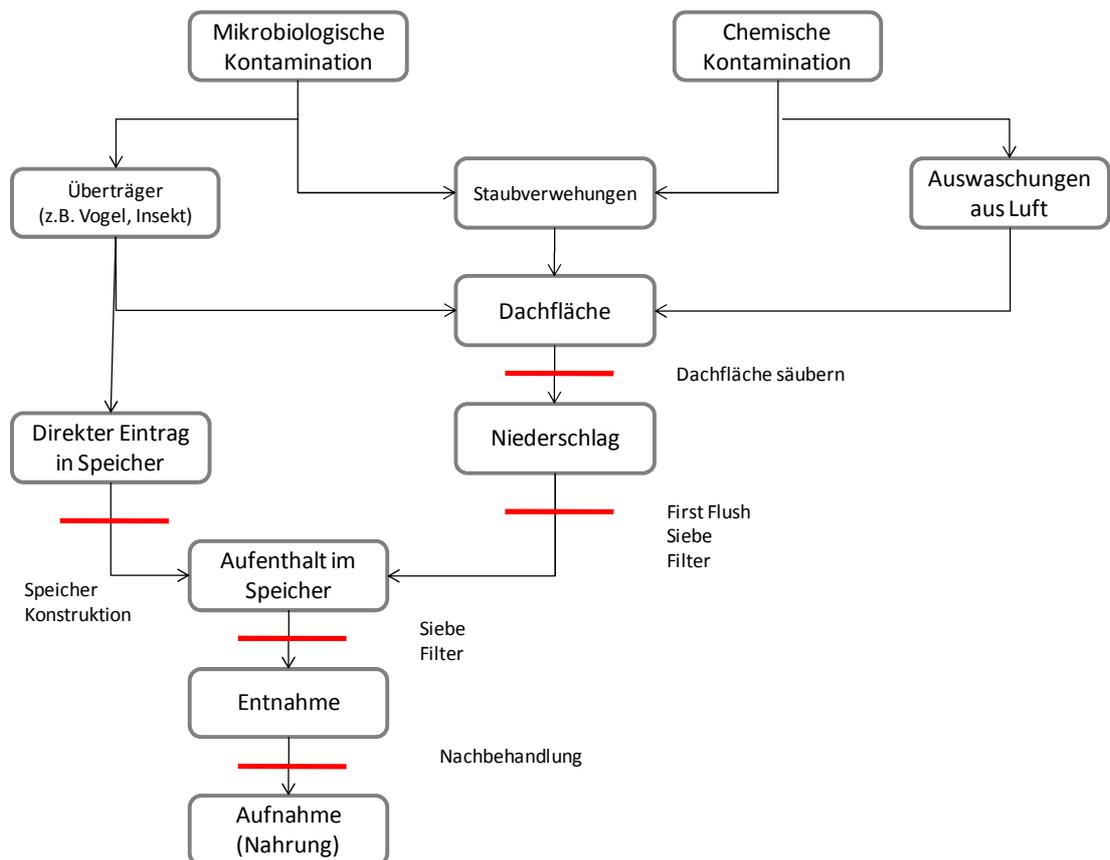
## 7 Bewertung der Ergebnisse

### 7.1 Wasserqualität

Niederschlagswasser an sich ist von herausragender Qualität, sogar in städtischen oder industriellen Gegenden ist es nur minimal verunreinigt- es wird lediglich von destilliertem Wasser übertroffen. Regenwasser ist zudem weich und wohlschmeckend.

#### Wege der Kontamination

Für die Beurteilung der Qualität eines RWH Systems ist es hilfreich den komplexen Weg zu betrachten, den ein Kontaminant nimmt bis er in den menschlichen Körper eindringt. Die Wege der Kontaminationen und wie man diese eindämmen kann werden in der folgenden Abbildung dargestellt:



**Abbildung 66:** Wege der Kontamination und Barrieren (vgl. Thomas Martinson, 2007, S. 38)

Verunreinigt wird das Niederschlagswasser durch Material, dass vom Dach gewaschen wird. Das kann aus verschiedenen Quellen kommen:

### 7.1 Wasserqualität

---

- Die bei weitem größte Einbringung erfolgt durch Material, das sich auf dem Dach abgelagert hat, während eines Sturms auf das Dach geweht worden ist oder durch Tiere dorthin gelangte
- Wenn das Wasser durch verschmutzte Rinnen fließt, kann weiterer Schmutz hinzukommen

Der Hauptgrund der meisten Krankheitsausbrüche ist jedoch ein direkter Zugriff auf den Behälter an sich, entweder durch Überträger wie Kleintiere oder durch Unfälle.

Während der Zeit in der sich das Wasser im Tank befindet, kann es purifiziert werden, Sedimentation kann stattfinden und Bakterien können absterben, wodurch die Wasserqualität erhöht wird. Falls der Behälter jedoch mangelhaft konstruiert oder gewartet worden ist, birgt er weitere Gefahren der Verschmutzung. Wenn Licht in den Wasserbehälter eindringen kann, ist die Möglichkeit gegeben, dass sich dort ein aktives Ökosystem entwickelt, mit der Folge sehr schlechter Wasserqualität.

#### **Krankheiten im Zusammenhang mit RWH**

Es gibt nur eine Handvoll Krankheiten die mit RWH Systemen in Verbindung gebracht werden. Die Fälle von denen berichtet wurden nennen schlechte Handhabung des RWH, Verunreinigung durch Unfälle oder immungeschwächte Personen als Ursache, oder es handelt sich um Fälle wo Regenwasserkonsum nur eine mögliche Ursache des Krankheitsausbruchs ist. Salmonellen, die durch Fäkalien kleiner Säugetiere oder Vögel übertragen werden, wurden am häufigsten als Fälle genannt. Mehrmalig handelt es sich hier um schlechte Handhabung, z.B. Dächer die mit Vogelfäkalien übersät waren, oder ähnliches. Keine der Fälle waren tödlich. Es gibt ein paar Berichte über Gastroenteritis (entzündliche Darm-Erkrankung), die mit durch Vögel übertragenen Campylobacter Bakterien, in Verbindung gebracht werden. Diese Fälle wurden jedoch entweder bei immungeschwächten Menschen beobachtet, oder das Regenwasser wird neben einer Vielzahl anderer Gründe (wie zum Beispiel dem Verzehr von Geflügel), aufgeführt. Ein Campylobacter Fall wurde im Zusammenhang mit Regenwasser gemeldet. In diesem Fall war es die Folge mangelhafter Reinigung.

Es gibt eine kleine Anzahl epidemiologischer Studien, die Haushalte mit RWH Systemen untersucht haben. Jene Studien zeigen, dass Haushalte in denen RWH auch als Trinkwasser benutzt wird, kein größeres Risiko einer Magen-Darm-Infektion hatten, als Haushalte die Grundwasser, oder gechlortes Wasser aus dem öffentlichen Versorgungsnetz konsumierten.

### **Mikrobiologische Verunreinigung**

In mehreren Studien wurden totale oder thermo-resistente Kolibakterien in Wassertanks nachgewiesen. Die Bakterienmengen weisen große Abweichungen auf, einerseits von System zu System, andererseits über einen Zeitraum hinweg.

Nach der Trockenzeit sind diese Mengen am größten. Über einen längeren Zeitraum hinweg betrachtet pendelt sich das Maß der Bakterienverunreinigung jedoch wieder ein, da sich das Material setzt und die Bakterien absterben. Eine Verringerung des Bakterienbefalls um 90% kann meist nach etwa 3 Tagen beobachtet werden, obwohl dies mit unterschiedlichen lokalen Gegebenheiten variieren wird.

Es existiert eine immer größer werdende Menge an Beweisen, dass die Anzahl von nachgewiesenen Indikatorbakterien nicht mit Erregern korreliert, sondern lediglich die Existenz opportunistischer Umweltbakterien nachweist. Diese Umweltbakterien werden nicht als gefährlich eingestuft, es gibt sogar Hinweise, dass sie einen wichtigen Teil des nützlichen Biofilms darstellen, der die Wände des Wasserbehälters auskleidet.

Mikrobiologische Verunreinigungen sind zurückzuführen auf die Ablage tierischer Fäkalien auf dem Dach- das ist auch Ursache der wenigen Krankheiten die mit RWH assoziiert werden- im Gegensatz zu Hepatitis, Durchfall, Cholera etc., die alle durch menschliche Fäkalien übertragen werden, und noch nie mit RWH in Verbindung gebracht wurden.

Das gezinkte Wellblech an sich ist für Krankheitserreger, die warme, feuchte und sauerstoffarmen Milieus benötigen, eine sehr feindliche Umgebung. Die trockene Hitze die für ein Wellblechdach unter hellem Sonnenlicht typisch ist, wird viele der menschlichen Krankheitserreger effektiv abtöten.

Wasserrinnen können, vor allem wenn sie lange nicht gereinigt wurden, große Mengen organischen Materials enthalten. Falls das organische Material in den Behälter eindringt, ist es eine gute Nahrungsquelle für Bakterien und Insekten und enthält eventuell auch selbst mikrobiologische Verunreinigungen. Der Prozess des Absterbens und der Trocknung wird bei Wasserrinnen bei Weitem nicht so effektiv sein wie bei Dächern.

### **Überwachung der bakteriellen Qualität des Dachwassers**

Da während der Regenzeit kontinuierlich Wasser in den Tank fließt, ist unmöglich, die bakterielle Qualität des Systems anhand einer Lesung zu bestimmen.

Aufgrund dessen ist außerdem die Durchschnittsberechnung (arithmetisches Mittel) unangebracht, da diese durch hohe Anfangswerte dominiert würden, die aber nur über einen ganz kurzen Zeitraum existieren.

Diese Faktoren können kompensiert werden indem man das Wasser über einen Zeitraum hinweg mehrfach testet. Die UESPA<sup>15</sup> schlägt z.B. vor 5 Proben innerhalb eines Monats zu nehmen.

Aus diesen Proben kann das geometrische Mittel berechnet werden, welches als Grundlage für die Messung der Wasserqualität dient.

Zur Messung der Mikrobiologischen Verunreinigung eignen sich 3M Petrifilme, dieser einfache Test liefert innerhalb von 48 Stunden Ergebnisse. Die Trübung kann mittels eines Turbidimeters (Streulichtmessgerät) gemessen werden. Küvettenschnelltests eignen sich gut zur schnellen Beurteilung der Wasserqualität. Beispielsweise gibt es ,5 in 1‘ Teststreifen, die die Alkalität, den pH-Wert und die Wasserhärte messen.

### **Chemische und physikalische Verunreinigungen**

Da Regenwasser ein natürliches Resultat des Destillationsprozesses ist, ist die chemische Qualität sehr gut. Es enthält wenig gelöste Mineralien und Schwebstoffe. Im Falle von mikrobiologischer Verunreinigung, erfolgt das Risiko chemischer Verunreinigung erst nachdem der Niederschlag mit dem Dach in Berührung kommt.

Schadstoffe wie Schwermetalle sind nur in städtischen Gegenden im Wasser vorgefunden worden und sind im ländlichen Bereich nicht zu erwarten.

Den größten Anteil der Wasserverunreinigungen machen die vom Dach gewaschenen Partikel aus, die anhand der Trübheit gemessen werden. Normalerweise ist suspendiertes Material nicht toxisch, aber es kann Mikroorganismen und organisches Material beinhalten, die ein ästhetisches Problem darstellen. Das Wasser im Tank hat eine geringe Trübung, da die meisten Verunreinigungen mit dem First Flush abgetrennt werden, von Sieben aufgehalten werden und sich 90% der Partikel die in den Tank gelangen innerhalb von 24 Stunden am Boden absetzen.

---

<sup>15</sup> USEPA= US Environmental Protection Agency, ist eine unabhängige Behörde der Regierung der Vereinigten Staaten von Amerika zum Schutz der Umwelt und zum Schutz der menschlichen Gesundheit.(wikipedia)

**Mosquitos**

Das Brüten von Mosquitos in RWH Systemen wurde in mehreren Fällen und Orten mit dem Ausbruch von Malaria<sup>16</sup> und Dengue<sup>17</sup> assoziiert. In diesen Fällen waren die Tanks jedoch mangelhaft konstruiert, schlecht gewartet oder ohne Abdeckung. Dachrinnen können ebenso als Brutstätte dienen, vor allem wenn sie schlecht konstruiert sind, also Beulen haben oder kein Gefälle aufweisen, so dass sie nicht vollständig entwässern können.

Selbst ein sehr gut konstruierter Wassertank wird nicht verhindern, dass manchmal Mücken in den Tank gelangen und eventuell auch ihre Eier ablegen. Allerdings benötigen die Larven der Mücke Nährstoffe die in gut konstruierten Tanks nicht ausreichend zu finden sind und so können sie sich nicht vollständig entwickeln. (Thomas Martinson, 2007)

**Fazit**

Bei der Verwendung von Regenwasser ist die richtige Handhabung für die Aufrechterhaltung der Gesundheit ausschlaggebend. Wenn diese Praxis berücksichtigt wird, kann von einer guten Wasserqualität durch die RWH Systeme, ausgegangen werden. Wird das System so gebaut wie in Kapitel 5 beschrieben und werden die verschiedenen Teile der Anlage regelmäßig gewartet, bzw. gereinigt, kann davon ausgegangen werden, dass das gespeicherte Wasser ohne Bedenken für hygienische Zwecke verwendet werden kann.

---

<sup>16</sup> Malaria wird von der Anopheles Mücke übertragen

<sup>17</sup> Denguefieber wird von der Gelbfiebermücke und der asiatischen Tigermücke übertragen

---

## 7.2 Betriebsplanung

Wichtig für die dauerhafte Funktion der vorgesehenen Baumaßnahmen sind die Einbeziehung der zukünftigen Nutzer und die Wissensvermittlung über die Funktionsweise und die Knappheit der geschaffenen Ressourcen. In Unterrichtseinheiten sollten alle Nutzer bezüglich eines geregelten, wassersparenden Betriebs sensibilisiert werden. Darüber hinaus sollten klare Verantwortlichkeiten für die Anlage geschaffen werden, um die dauerhafte Funktionsfähigkeit sicherzustellen.

Eine mögliche Vorgehensweise wäre die Bildung wöchentlich wechselnder Wasserkomitees, z.B. bestehend aus 1 Lehrkraft und 5 Schülern, die als Aufsichtspersonal die Hoheit über die Wasserversorgungsanlage besitzen. Als Möglichkeit, den Wasserverbrauch zu überprüfen und gegebenenfalls zu kontrollieren bietet sich an, die Eimer (ca. 10x10L) in den Toiletten, z.B. nur 1x täglich aufzufüllen:  $10 \times 10 = 100\text{l}$ . So kann man noch zusätzlich 7 Eimer, bzw. 70 lit mit der Handpumpe aus der Zisterne entnehmen. Ein gesicherter zentraler Schieber im Bereich der Waschbecken könnte hier zusätzlichen Verbrauch einschränken. Die Handpumpe an der Zisterne sollte nur für jenen zusätzlichen Verbrauch genutzt werden. Hier sollte ein Schloss angebracht werden. Nur das Aufsichtspersonal sollte die Schlüsselgewalt haben.

Sind die Zisterne und der Polytank randvoll kann natürlich der Verbrauch in leicht erhöhtem Maße freigegeben werden, bevor überschüssiges Wasser versickert.

Die Wasserkomitees sollten sich auch um die Reinigung und Wartung der Anlage kümmern, so sollten beispielsweise die Toiletten täglich gereinigt werden. In der Regenzeit müssen regelmäßig die Rinnen und die Filter gesäubert werden.

Die Dachflächen sind vor Beginn der Regenzeiten zu überprüfen und von angefallenen Verschmutzungen zu befreien. An den Regenwassersammelleitungen sollten nach Verfügbarkeit Revisionsöffnungen vorgesehen werden, um diese bei Bedarf nach mehrjähriger Nutzung durchfahren zu können. Die vorgesehenen, auch in Afrika verfügbaren, PVC-Wasserleitungen benötigen im Regelfall keine Wartungsmaßnahmen. Unmittelbar nach Trockenfallen wäre die Zisterne zu begehen, Verschmutzungen zu entfernen und etwaige Risse im Zementputz auszubessern. Mittels dieser Maßnahmen soll die langfristige Funktion der Anlage gewährleistet werden.

An Zisterne und Toiletten können Hinweisschilder angebracht werden um die ordnungsgerechte Nutzung sicherzustellen, vorstellbar wären plakative „do“ und „don't“ Schilder in Form von Zeichnungen.

### 7.3 Mögliche Probleme kulturellen Hintergrunds

Problematisch könnte sein die Schüler und Lehrkräfte für das neue Toilettensystem zu mobilisieren. Desweiteren sind unterirdische Zisternen eher unbekannt. Die Bevölkerung wird vielleicht nicht auf Anhieb verstehen warum man eine Zisterne in den Boden baut, scheint es doch zunächst mehr Arbeit zu sein, Bodenaushub etc. Die Dorfgemeinschaft muss von Anfang an mit einbezogen werden. Im Vorfeld sollten Maßnahmen zur Bekanntmachung ergriffen werden, damit möglichst viele Menschen interessiert sind und um möglichst viele für das Projekt zu gewinnen. In Gesprächen muss der Bevölkerung klar gemacht werden, dass sie in die Entscheidungsprozesse mit einbezogen werden. Die Leute müssen Vertrauen in das Projektteam haben. Anschaulich sollten die Vorteile der Baumaßnahmen erklärt werden, mittels Bildern oder Gleichnissen. Gemeinsame Ziele sollten geschaffen werden. Komitees können gebildet werden, die Bevölkerung soll sich verantwortlich und gleichberechtigt fühlen.

Beispielweise kann man bezüglich der Sanitäranlagen vor der Implementierung die einzelnen Komponenten demonstrieren und zeigen, z.B. dass Pflanzen nicht sterben, wenn sie mit Fäzes gedüngt werden.



**Abbildung 67:** Bevölkerung beim begutachten von getrockneten Fäzes (Boot, 2007, S. 6)

Weiterhin kann man sich vielleicht ein Beispiel an Annette Weber und Rüdiger Nehberg nehmen, die mit ihrer NGO ‚Target‘ mit dem Islam arbeiten und nicht dagegen. Im Islam steht zwar, dass Fäkalien unrein sind, auf der anderen Seite ist aber auch die Wertschätzung der Natur von besonderer Wichtigkeit und darum schließlich geht es bei der Otji Toilette, die die Exkremete nicht als Abfall sondern als Wertstoff betrachtet. So kann man moderne Technik mit religiösen Grundwerten verbinden, indem man den Stoffkreislauf des Systems betont. Vielleicht kann man einen Gelehrten für das Projekt gewinnen, dessen Wort bei der Bevölkerung viel Einfluss hat.

---

## 8 Schlusswort

Roofwater Harvesting stellt eine an die Gegebenheiten angepasste Technologie dar und würde den Schülern eine verbesserte Versorgung zukommen lassen. Das System ist einfach und wird für realisierbar gehalten. Die Voraussetzungen vor Ort sind gut, das Schuldach ist ausreichend groß und gut konstruiert. Außerdem ist Roofwater Harvesting in der Gegend eine bekannte Methode zur Wassergewinnung, folglich kann man davon ausgehen, dass diese von den Nutzern akzeptiert wird. Die Baumaterialien sind vor Ort zu bekommen und die Arbeiter haben Erfahrung im Bau von Zisternen. Es ist zu erwarten, dass das Wasser von ausreichender Qualität ist und für hygienische Zwecke eingesetzt werden kann. Die gewählten Sanitären Anlagen sind ein der Kreislaufwirtschaft entsprechendes System, ebenfalls einfach zu bauen. Diese würden die hygienischen Verhältnisse der Schüler um einiges verbessern.

Zwar liefert die Zisterne aller Wahrscheinlichkeit nach wenig Wasser und sollte nur ein erster Schritt sein, dennoch darf an der Sinnhaftigkeit dieses Projekts nicht gezweifelt werden, denn ein bisschen Wasser ist besser als gar kein Wasser!

Trotzdem bleibt ein Restrisiko, denn die Meteorologie ist zwar in der Lage das Wetter für die nächste Wochen vorauszusagen, nicht aber das Wetter des nächsten Jahres. Es wird immer wieder Dürrezeiten geben in denen der Speicher trocken fällt, wie die momentan am Horn von Afrika herrschende humanitäre Katastrophe zeigt. In diesen Zeiten sollte dann die Möglichkeit bestehen auf andere Quellen zurück zu greifen. Diese Katastrophe zeigt aber auch wie wichtig die Arbeit von Ingenieuren und die Implementierung solcher Projekte ist.

Durch dieses Projekt könnten viele Krankheiten verhindert werden und wer nicht krank ist kann sich besser konzentrieren und daher besser lernen. Wenn die Eltern von Hidmo diese Form der Wasser- und Sanitärversorgung akzeptieren und sie motiviert an der Erstellung teilhaben wollen, ist es sinnvoll dieses Projekt weiter zu verfolgen und die Phase der Entwurfsplanung einzuleiten. In diesem Zuge ist dann auch zu überlegen wie weiteres Bewässerungswasser für den Nutzgarten bereit gestellt werden kann, denn zu wissen, dass das karge Ackerland mit sparsameren Bewässerungsmethoden und mit hygienisierten Fäzes auch in dürrer Zeiten Ertrag bringen kann, ist nicht weniger wichtig.

Das Horn von Afrika wird von Klimaforschern als ‚Epizentrum des Klimawandels‘ bezeichnet, es gibt Möglichkeiten mit diesem neuen Klima zurecht zu kommen, die Menschen müssen nur wissen wie.

---

## Literaturverzeichnis

*UN OCHA-Ethiopia*. (2011). Von United Nations Office for Coordination of Humanitarian Affairs - Ethiopia: <http://www.ocha-eth.org/index.htm> abgerufen

Akvopedia. Abgerufen am 01. 07 2011 von [http://www.akvo.org/wiki/index.php/File:Fossa\\_alternativa.png](http://www.akvo.org/wiki/index.php/File:Fossa_alternativa.png)

Ariane Krause, S. J. (2011). *Aspekte der Hygienisierung im Kontext der Entwicklung eines neuen Sanitär-Ansatzes*. Berlin: Technische Universität Berlin.

B. Wisner, J. A. (2002). *Environmental Health in Emergencies and Disasters*. Malta: World Health Organisation WHO.

Boot, N. (2007). *Reuse of Faeces and Urine from Ecological Sanitation*. Rugby Warwickshire: Practical Action.

Brockhaus, E. (1950). *Der kleine Brockhaus*. Wiesbaden: Eberhard Brockhaus.

Bundesärztekammer. (2005). *Target Human Rights*. Von <http://www.target-human-rights.com/pdf/weitereInfos/fgm-aerzte-empfehlungen.pdf> abgerufen

Cramer/Unmüßig, B. S. (2008). *Afrika im Klimawandel*. GIGA.

C. Schönning, A. S. (2004). *Guidelines for the safe use of urine and faeces in ecological sanitation systems*. EcoSanRes Stockholm Environment Institut.

ClayHouseProject. (kein Datum). *Clay House Project*. Abgerufen am 10. 07 2011 von <http://home.arcor.de/clayhouse/>

ClayHouseProject. *The Otji-Toilet self builder manual*. Otjiwarongo: The Clay House Project.

Doyle, K. C. (2008). *Sizing the First Flush and its Effect on the Storage-Reliability*. MASSACHUSETTS: MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY .

DRK. (kein Datum). *betterplace.org*. Abgerufen am 12. 06 2011 von <http://www.betterplace.org/de/projects/3406-sauberes-wasser-rettet-leben-drk-hilft-in-somalia/pictures>

Foundation EcoSan Services. (2009). *Urine Diversion Dehydration Toilet (UDDT) Construction Manual*. Indien: EcoSan Services Foundation.

Francois Brikke, M. B. (2003). *Linking technology choice with operation and maintenance in the context of community water supply and sanitation*. Malta: World Health Organization WHO.

Franzen, S. (12. 05 2011). Trenntoiletten. (S. Schultealbert, Interviewer)

H. Jönsson, A. B. (2004). *Guidelines on the Use of Urine and Faeces in Crop Production*. Stockholm: Stockholm Environment Institut.

IHP-HWRP. (2011). *IHP HWRP Germany*. Abgerufen am 01. 07 2011 von [www.ihp.bafg.de](http://www.ihp.bafg.de)

- 
- ihp-hwrp. (kein Datum). *ihp-hwrp germany*. Von <http://ihp.bafg.de/> abgerufen
- infonet-biovision. (kein Datum). *infonet-biovision*. Abgerufen am 14. 07 2011 von <http://infonet-biovision.org/default/ct/606/soilConservation>
- Klopper, D. (2010). *Grundwasserdamm äthiopisches Hochland Diplomarbeit*. FH Münster.
- Massmann, T. F. (2005). *Methoden des Water Harvesting*. Kiel.
- Mohn, R. (2006). *Skript Landwirtschaftlicher Wasserbau*.
- Mohn, R. (2004). *Skript Wasserbau Ökologie*. FH Münster.
- Mutschmann, J., & Stimmelmayer, F. (2007). *Taschenbuch der Wasserversorgung*. Stuttgart : vieweg.
- Nehberg TARGET, R *Target Rüdiger Nehmberg*. Von <http://www.target-human-rights.de> abgerufen
- Nehberg, R. (2008). *Karawane der Hoffnung*. Mnchen: Piper.
- Nissen-Petersen. (2007). *Water from Roofs*. Kenya: ASAL Consultants Ltd.
- Nissen-Petersen, E. (2007). *Water from Rocks*. Kenia: Danisch International Development Agency.
- Nissen-Pertersen, E. (2007). *Water from Roads*. Kenia: Danish International Development Assistance.
- Peuser, E. (2009). *Ecological Sanitation - Eine Konfrontation mit sozialen Hygienetabus am Beispiel von Nepal und Uganda-Diplomarbeit*. Darmstadt: Institut für Soziologie Darmstadt.
- S.A. Esrey, I. A. (2000). *Closing the Loop-Ecological sanitation for food security*. Mexico: Swedish International Development Cooperation Agency.
- Skinner, B. *Loughborough University Leicester*. Abgerufen am 05. 05 2011 von <http://www.lboro.ac.uk>
- SPHEREProject. (2011). *Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response*.
- Still, G., & Thomas, T. (2002). *The optimum sizing of gutters for domestic roofwater harvesting*. Warwick: University of Warwick.
- Straub Ingenieure ohne Grenzen, T. *tilman-straub*. Abgerufen am 2011. 07 01 von [tilman-straub.de](http://tilman-straub.de)
- Texas Water Development Board. (1997). *Texas Guide to Rainwater Harvesting*. Austin:
- Thomas Martinson, T. D. (2007). *Roofwater Harvesting*. NL: IRC.
- Universallexikon. (2004). *Universallexikon 2004*. Gütersloh: Mohn Medien.

---

*Welt Online*. (11. 08 2007). Abgerufen am 23. 06 2011 von welt online:  
[http://www.welt.de/wissenschaft/article1096668/Fische\\_helfen\\_im\\_Kampf\\_gegen\\_Malaria.html](http://www.welt.de/wissenschaft/article1096668/Fische_helfen_im_Kampf_gegen_Malaria.html)

WHO. (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*. Frankreich: World Health Organization.

WHO. (1996). *Simple Pit Latrines Fact Sheet 3.4*. World Health Organization.

Wikimedia. (kein Datum). *Wikimedia*. Abgerufen am 01. 07 2011 von  
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a2/Arborloo-en.svg/749px-Arborloo-en.svg.png>

<http://www.mowr.gov.et/index.php?pagenum=2&pagehgt=1785px>

<http://www.mowr.gov.et/wresurfacewatertblclimate.php>

[http://www.ethiomet.gov.et/index.php?Page\\_No=1.4&item=5](http://www.ethiomet.gov.et/index.php?Page_No=1.4&item=5)

<http://worldweather.wmo.int/060/c00167.htm>

[http://www.icid.org/cp\\_ethiopia.html](http://www.icid.org/cp_ethiopia.html)

<http://www.who.int/en/>

<http://www.iww.uni-hannover.de/de-de/Mitarbeiter/Bardowicks/>

[http://www.iwar.tu-darmstadt.de/iwarinstitut/fachgebiete\\_1/index.de.jsp](http://www.iwar.tu-darmstadt.de/iwarinstitut/fachgebiete_1/index.de.jsp)

<http://www.ihwb.tu-darmstadt.de>

<http://www.strickhof.ch>

<http://practicalaction.org>

<http://ihp.bafg.de>

<http://www.sonne-international.org>

<http://www.ethiopar.net/type/English/basinfo/infoafar.htm>

<http://www.menschenfuermenschen.at>

<http://en.wikipedia.org>

<http://www.arkeyna.com>

<http://www.unicef.de>

<http://foederalion.bundesrat.de/foederalion/quartett/index.php?page=afrika>

---

## **Anhang**

- A 1 Auswertung der Niederschlagsdaten
- A 2 Liste der Pathogene enthalten in Fäzes
- A 3 Ergebnisse Bewässerungswasser-Bedarf CROPWAT
- A 4 Konstruktionszeichnung
- A 5 Kostenschätzung

---

## Anhang 1 Auswertung der Niederschlagsdaten

# Als Beispiel Regendaten von 1972

## Daily Rainfall

Sheket /Abaala		Daily Rainfall											
Year	Date	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1972	1	0,1	0	0	0	0	0	4,7	26	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	5,5	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	1,8	0	0,9	3,8	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0,9	2,3	0	1,6	0	0
	5	XX	0	0	0	0	0	0,5	1,7	4	0	0	0
	6	XX	0	0	0	0	0	13,3	5,9	0	0	0	0
	7	XX	0	0	0	0	0	0,1	8,6	0	0	0	0
	8	XX	0	0	0	2,2	0	0	0	0	0	0	0
	9	XX	0,3	0	0	0	0	10,1	0	0	0	2	0
	10	XX	1	0	0	5,1	0	0	11,9	0	0	0	0
	11	0	0	0	0	1,2	0	0	0	16,4	0	0	0
	12	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	TR	0
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	0	0	0	0	43,9	0	0	6,6	3	0	0	0
	16	0	0	0,1	0	0	0	0	4,5	0	0	0	0
	17	0	0	1,2	0	6,3	6,6	0,4	21,6	0	0	0	0
	18	0	0	0	0	0	0,5	0	4,6	0	1,3	0	0
	19	0	0	0	0	3,1	6,5	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0
	21	0	0	0,5	0,4	0	0	0	1,4	0	0	0	0
	22	0	0	0,1	12,3	2,1	3,4	1,1	0	0	0	0	0
	23	0	0	6,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25	0	0	0	12,8	0	8,3	0	0	0	0	0	0
	26	0	0	0	15	0	5,2	0	17	0	0	0	0
	27	0	1,2	0	0	0	0	12,1	0	0	0	0	0
	28	0	0,1	0	0	0	0	8,4	1	0	0	0	0
	29	0	0	0	0	0	0	0,5	0,9	0	0	0	0
	30	0	0	0	0	0	0	20,6	0	0	0	0	XX
	31	0	0	0	0	0	0	0	9,2	0	0	0	XX
		0,1	2,6	8	97	17,2	75,2	67,5	106,9	5,3	1,6	2	0
		25	28	31	30	31	30	31	31	30	31	29	29

Data from NMSA  
Data compilation by MU IUC  
programme

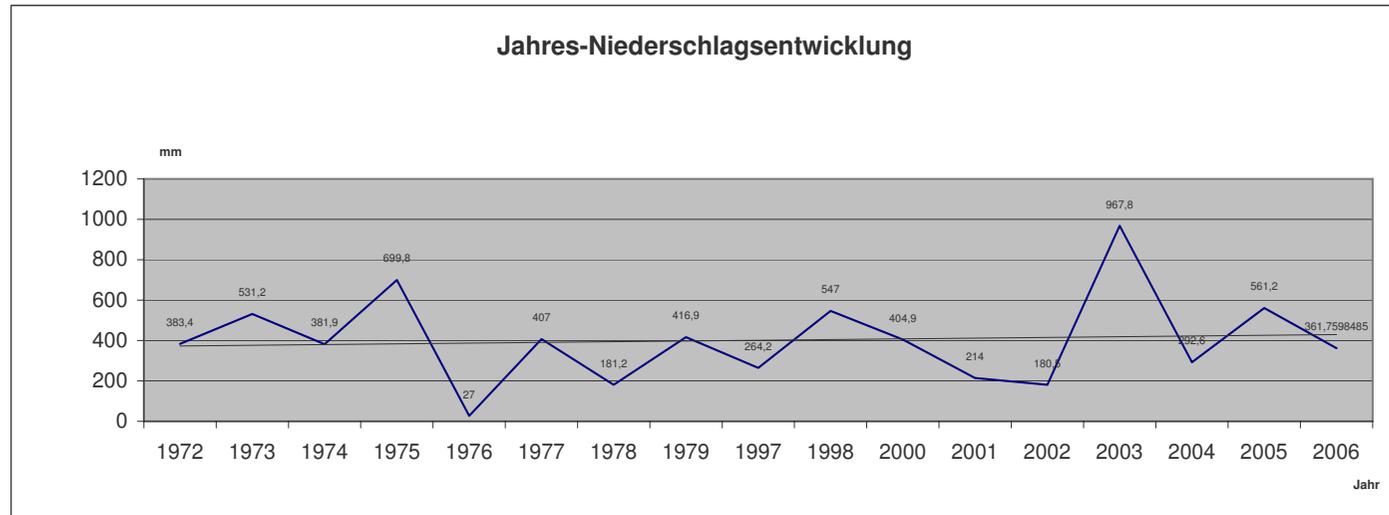
383,4      1972    X

Überblick verwertbare Jahre und Durchschnittsberechnung

Niederschlagshöhen

		Niederschlagshöhen												Jahressumme	
		Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
		C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N		
1	1972	5 <sup>25</sup>	0,1 <sup>28</sup>	2,6 <sup>31</sup>	8 <sup>30</sup>	97 <sup>31</sup>	17,2 <sup>30</sup>	75,2 <sup>31</sup>	67,5 <sup>31</sup>	106,9 <sup>30</sup>	5,3 <sup>31</sup>	1,6 <sup>29</sup>	2 <sup>29</sup>	0	383,4
2	1973	40 <sup>15</sup>	0 <sup>28</sup>	0 <sup>31</sup>	0 <sup>30</sup>	42 <sup>31</sup>	66,5 <sup>30</sup>	5,2 <sup>31</sup>	170 <sup>31</sup>	196,7 <sup>30</sup>	17,5 <sup>10</sup>	13 <sup>30</sup>	10,9 <sup>31</sup>	9,4	531,2
3	1974	75 <sup>31</sup>	1,4 <sup>28</sup>	0,8 <sup>31</sup>	10 <sup>30</sup>	2,2 <sup>31</sup>	65,5 <sup>30</sup>	27,3 <sup>31</sup>	136,9 <sup>31</sup>	121,7 <sup>30</sup>	16,1 <sup>31</sup>	0 <sup>25</sup>	0 <sup>27</sup>	0	381,9
4	1975	110 <sup>18</sup>	13,7 <sup>28</sup>	0 <sup>31</sup>	5,4 <sup>30</sup>	30,2 <sup>31</sup>	3,7 <sup>30</sup>	125,5 <sup>31</sup>	165,8 <sup>31</sup>	226,9 <sup>30</sup>	57 <sup>31</sup>	0 <sup>30</sup>	0 <sup>31</sup>	71,6	699,8
5	1976	145 <sup>30</sup>	0 <sup>27</sup>	0,4 <sup>31</sup>	8,5 <sup>26</sup>	18,1 <sup>9</sup>	0 <sup>9</sup>	0 <sup>9</sup>	0 <sup>9</sup>	0 <sup>9</sup>	0 <sup>9</sup>	0 <sup>30</sup>	0 <sup>31</sup>	0	27,0
6	1977	180 <sup>31</sup>	0 <sup>28</sup>	0 <sup>31</sup>	34,2 <sup>30</sup>	0 <sup>31</sup>	88,4 <sup>30</sup>	5,5 <sup>31</sup>	159,6 <sup>31</sup>	88,5 <sup>25</sup>	0 <sup>31</sup>	17,4 <sup>29</sup>	13,4 <sup>31</sup>	0	407,0
7	1978	215 <sup>31</sup>	0 <sup>28</sup>	0 <sup>31</sup>	0 <sup>30</sup>	22 <sup>31</sup>	0 <sup>30</sup>	8,4 <sup>31</sup>	101 <sup>31</sup>	49,8 <sup>30</sup>	0 <sup>31</sup>	0 <sup>30</sup>	0 <sup>31</sup>	0	181,2
8	1979	250 <sup>31</sup>	0 <sup>28</sup>	0 <sup>31</sup>	0 <sup>30</sup>	0 <sup>31</sup>	64,1 <sup>30</sup>	48,5 <sup>31</sup>	86,5 <sup>31</sup>	117,1 <sup>30</sup>	18,5 <sup>27</sup>	82,2 <sup>30</sup>	0 <sup>31</sup>	0	416,9
9	1997	285 <sup>8</sup>	0 <sup>9</sup>	0 <sup>9</sup>	0 <sup>9</sup>	0 <sup>9</sup>	0 <sup>30</sup>	74,6 <sup>31</sup>	27,4 <sup>9</sup>	0 <sup>30</sup>	52 <sup>31</sup>	110,2 <sup>9</sup>	0 <sup>9</sup>	0	264,2
10	1998	320 <sup>8</sup>	0 <sup>10</sup>	0 <sup>31</sup>	0 <sup>30</sup>	32,1 <sup>9</sup>	0 <sup>30</sup>	6,5 <sup>31</sup>	255,5 <sup>31</sup>	220,6 <sup>11</sup>	0 <sup>31</sup>	32,3 <sup>9</sup>	0 <sup>10</sup>	0	547,0
11	2000	355 <sup>9</sup>	0 <sup>11</sup>	0 <sup>31</sup>	0 <sup>30</sup>	5,7 <sup>31</sup>	125,8 <sup>30</sup>	0 <sup>31</sup>	50 <sup>31</sup>	207,3 <sup>31</sup>	16,1 <sup>9</sup>	0 <sup>9</sup>	0 <sup>11</sup>	0	404,9
12	2001	390 <sup>31</sup>	0 <sup>28</sup>	32,2 <sup>30</sup>	18 <sup>30</sup>	0 <sup>31</sup>	0 <sup>23</sup>	14,9 <sup>28</sup>	48,2 <sup>31</sup>	93 <sup>30</sup>	0 <sup>31</sup>	0 <sup>30</sup>	0 <sup>31</sup>	7,7	214,0
13	2002	425 <sup>0</sup>	0 <sup>28</sup>	0 <sup>31</sup>	0 <sup>30</sup>	0 <sup>31</sup>	1,5 <sup>30</sup>	3,1 <sup>30</sup>	41,8 <sup>31</sup>	90,2 <sup>30</sup>	25,2 <sup>31</sup>	3,2 <sup>30</sup>	0 <sup>31</sup>	15,5	180,5
14	2003	460 <sup>28</sup>	1,2 <sup>28</sup>	16,6 <sup>31</sup>	36,1 <sup>27</sup>	49,5 <sup>31</sup>	0 <sup>30</sup>	0 <sup>31</sup>	577,1 <sup>26</sup>	263,7 <sup>28</sup>	20,8 <sup>30</sup>	0 <sup>30</sup>	0 <sup>28</sup>	2,8	967,8
15	2004	495 <sup>27</sup>	6,8 <sup>28</sup>	0 <sup>27</sup>	7,8 <sup>29</sup>	43,3 <sup>30</sup>	20,1 <sup>28</sup>	6,9 <sup>31</sup>	90,3 <sup>31</sup>	104,9 <sup>29</sup>	0 <sup>26</sup>	6,8 <sup>30</sup>	0 <sup>23</sup>	5,7	292,6
16	2005	530 <sup>31</sup>	0 <sup>26</sup>	1,4 <sup>31</sup>	0 <sup>25</sup>	177,2 <sup>24</sup>	115,6 <sup>30</sup>	0 <sup>31</sup>	131 <sup>31</sup>	136 <sup>30</sup>	0 <sup>31</sup>	0,0 <sup>30</sup>	0,0 <sup>31</sup>	0,0	561,2
17	2006	565 <sup>31</sup>	0 <sup>28</sup>	0 <sup>31</sup>	5 <sup>30</sup>	46,5 <sup>31</sup>	0 <sup>30</sup>	2 <sup>31</sup>	48 <sup>31</sup>	165 <sup>30</sup>	62 <sup>31</sup>	21,1 <sup>30</sup>	2,4 <sup>31</sup>	9,7	328,5
	Summe		23,2	54	133	565,8	568,4	403,6	2156,6	2188,3	290,5	287,8416667	28,69090909	122,4272727	Dürrejahr
	Summe bereinigt		9,5	54	133	565,8	452,8	388,7	2156,6	2188,3	290,5	274,84167	28,690909	116,72727	Durchschnittsjahr
	Jahre	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Spitzenjahr
	Fehler	6	3	1	1	4	2	2	3	2	3	3	4		
	Anzahl	10	13	15	15	12	14	14	13	14	13	13	12		
	<b>Durchschnitt</b>	1,0 mm	4,2 mm	8,9 mm	37,7 mm	37,7 mm	27,8 mm	154,0 mm	168,3 mm	20,8 mm	21,1 mm	2,2 mm	9,7 mm	493,4 mm	Durchschnitt
	60%Jahr	0,7	0,1	6,0	39,4	11,6	6,3	64,9	153,7	50,2	16,8	1,8	7,9	359,5 mm	
	J4(2004)*0,1*J5(2006)*1+J6(1974)*0,2	0,7	3,0	6,5	27,5	27,5	20,2	112,3	122,7	15,1	15,4	1,6	7,1	359,5 mm	

Jahr	Niederschlag
1972	383,4
1973	531,2
1974	381,9
1975	699,8
1976	27
1977	407
1978	181,2
1979	416,9
1997	264,2
1998	547
2000	404,9
2001	214
2002	180,5
2003	967,8
2004	292,6
2005	561,2
2006	361,759848





Wasser- und Sanitärversorgung von Schulen und Gesundheitsstationen für exemplarische Fälle im ändlichen Raum Äthiopiens

Diplomarbeit - Susanne Schultealbert, Erphostraße 8, 48145 Münster

Bereinigte Kopie Überblickstabelle zum weiteren Berechnen:

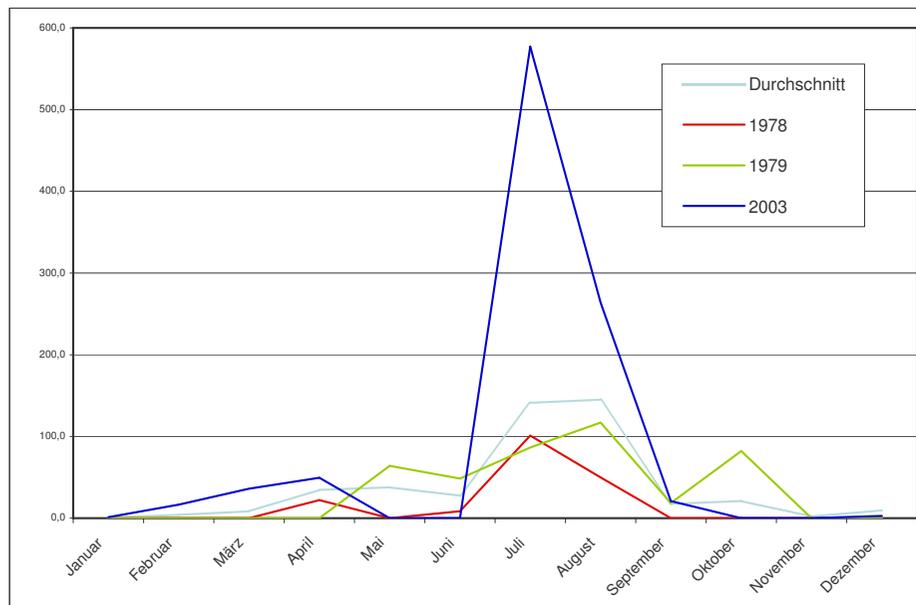
Niederschlagshöhen

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
1972	0,1	2,6	8	97	17,2	75,2	67,5	106,9	5,3	1,6	2	0
1973	0	0	0	42	66,5	5,2	170	196,7	17,5	13	10,9	9,4
1974	1,4	0,8	10	2,2	65,5	27,3	136,9	121,7	16,1	0	0	0
1975	13,7	0	5,4	30,2	3,7	125,5	165,8	226,9	57	0	0	71,6
1976	0	0,4	8,5	18,1	0	0	0	0	0	0	0	0
1977	0	0	34,2	0	88,4	5,5	159,6	88,5	0	17,4	13,4	0
1978	0	0	0	22	0	8,4	101	49,8	0	0	0	0
1979	0	0	0	0	64,1	48,5	86,5	117,1	18,5	82,2	0	0
1997	0	0	0	0	0	74,6	27,4	0	52	110,2	0	0
1998	0	0	0	32,1	0	6,5	255,5	220,6	0	32,3	0	0
2000	0	0	0	5,7	125,8	0	50	207,3	16,1	0	0	0
2001	0	32,2	18	0	0	14,9	48,2	93	0	0	0	7,7
2002	0	0	0	0	1,5	3,1	41,8	90,2	25,2	3,2	0	15,5
2003	1,2	16,6	36,1	49,5	0	0	577,1	263,7	20,8	0	0	2,8
2004	6,8	0	7,8	43,3	20,1	6,9	90,3	104,9	0	6,8	0	5,7
2005	0	1,4	0	177,2	115,6	0	131	136	0	0	0	0
2006	0	0	5	46,5	0	2	48	165	62	21,1417	2,3909	9,7273
1978	0	0	0	22	0	8,4	101	49,8	0	0	0	0
1979	0	0	0	0	64,1	48,5	86,5	117,1	18,5	82,2	0	0
2003	1,2	16,6	36,1	49,5	0	0	577,1	263,7	20,8	0	0	2,8
Durchschnitt	1,0	4,2	8,9	37,7	37,7	27,8	154,0	168,3	20,8	21,1	2,2	9,7

"Klimadaten"  
Monatsmittelwerte, Abala

	Niederschlag in mm			
	Durchschnitt	1978	1979	2003
Januar	1,0	0,0	0,0	1,2
Februar	4,2	0,0	0,0	16,6
März	8,5	0,0	0,0	36,1
April	34,6	22,0	0,0	49,5
Mai	37,7	0,0	64,1	0,0
Juni	27,6	8,4	48,5	0,0
Juli	141,3	101,0	86,5	577,1
August	145,2	49,8	117,1	263,7
September	17,6	0,0	18,5	20,8
Oktober	21,1	0,0	82,2	0,0
November	2,2	0,0	0,0	0,0
Dezember	9,7	0,0	0,0	2,8
Summe	450,7	181,2	416,9	967,8

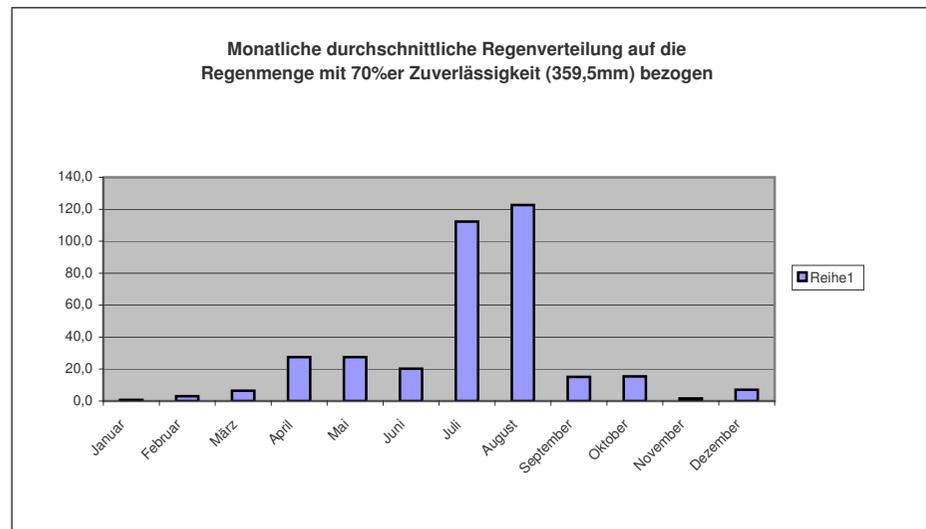
(Dürre)      (Mittel)      (Feucht)



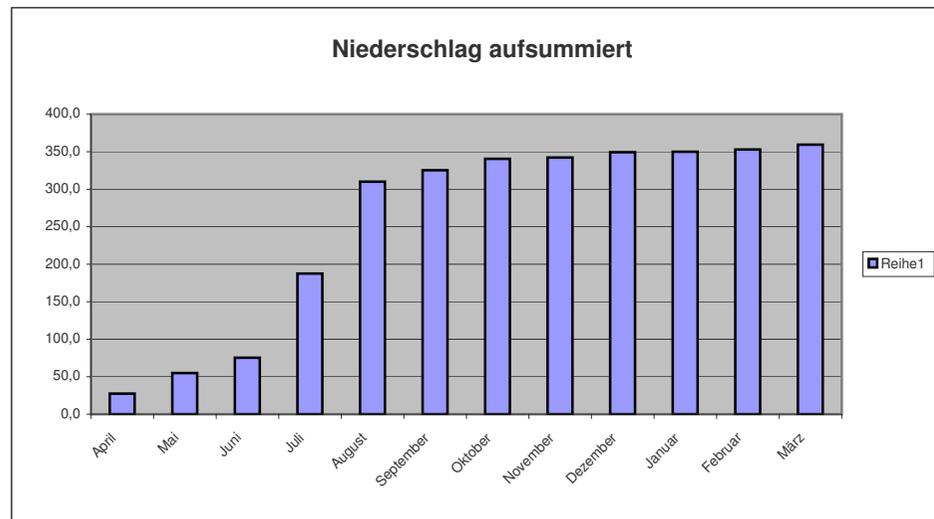
69,7

% der Niederschläge innerhalb 3 Monate (Juni bis August)

Januar	0,7
Februar	3,0
März	6,5
April	27,5
Mai	27,5
Juni	20,2
Juli	112,3
August	122,7
September	15,1
Oktober	15,4
November	1,6
Dezember	7,1
Summe	359,5



April	27,5
Mai	55,0
Juni	75,2
Juli	187,5
August	310,1
September	325,3
Oktober	340,7
November	342,3
Dezember	349,4
Januar	350,1
Februar	353,1
März	359,5



---

## Anhang 2 Liste Pathogener Keime

Table 2. Example of pathogens that may be excreted in faeces (can be transmitted through water and improper sanitation) and related diseases, including examples of symptoms they may cause (adapted from e.g. CDC, 2003c; Ottosson, 2003; SMI, 2003)

Group	Pathogen	Disease - Symptoms
<b>Bacteria</b>		
	<i>Aeromonas</i> spp.	Enteritis
	<i>Campylobacter jejuni/coli</i>	Campylobacteriosis - diarrhoea, cramping, abdominal pain, fever, nausea; arthritis; Guillain-Barré syndrome
	<i>Escherichia coli</i> (EIEC, EPEC, ETEC, EHEC)	Enteritis
	<i>Pleisiomonas shigelloides</i>	Enteritis
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Various; bacteraemia, skin infections, ear infections, meningitis, pneumonia
	<i>Salmonella typhi/paratyphi</i>	Typhoid/paratyphoid fever - headache, fever, malaise, anorexia, bradycardia, splenomegaly, cough
	<i>Salmonella</i> spp.	Salmonellosis - diarrhoea, fever, abdominal cramps
	<i>Shigella</i> spp.	Shigellosis - dysentery (bloody diarrhoea), vomiting, cramps, fever; Reiter's syndrome
	<i>Vibrio cholerae</i>	Cholera - watery diarrhoea, lethal if severe and untreated
	<i>Yersinia</i> spp.	Yersinioses - fever, abdominal pain, diarrhoea, joint pains, rash
<b>Virus</b>		
	Adenovirus	Various; respiratory illness. Here added due to the enteric types (see below)
	Enteric adenovirus 40 and 41	Enteritis
	Astrovirus	Enteritis
	Calicivirus (incl. Noroviruses)	Enteritis
	Coxsackievirus	Various; respiratory illness; enteritis; viral meningitis
	Echovirus	Aseptic meningitis; encephalitis; often asymptomatic
	Enterovirus types 68-71	Meningitis; encephalitis; paralysis
	Hepatitis A	Hepatitis - fever, malaise, anorexia, nausea, abdominal discomfort, jaundice
	Hepatitis E	Hepatitis
	Poliovirus	Poliomyelitis - often asymptomatic, fever, nausea, vomiting, headache, paralysis
	Rotavirus	Enteritis
<b>Parasitic protozoa</b>		
	<i>Cryptosporidium parvum</i>	Cryptosporidiosis - watery diarrhoea, abdominal cramps and pain
	<i>Cyclospora cayetanensis</i>	Often asymptomatic; diarrhoea; abdominal pain
	<i>Entamoeba histolytica</i>	Amoebiasis - Often asymptomatic, dysentery, abdominal discomfort, fever, chills
	<i>Giardia intestinalis</i>	Giardiasis - diarrhoea, abdominal cramps, malaise, weight loss
<b>Helminths</b>		
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Generally no or few symptoms; wheezing; coughing; fever; enteritis; pulmonary eosinophilia
	<i>Taenia solium/saginata</i>	
	<i>Trichuris trichiura</i>	Unapparent through vague digestive tract distress to emaciation with dry skin and diarrhoea
	Hookworm	Itch; rash; cough; anaemia; protein deficiency
	<i>Shistosomiasis</i> spp.	

## Anhang 3 Bewässerungswasser-Bedarf CROPWAT



**DRY CROP DATA**

(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\FAO\MAIZE.CRO)

Crop Name: MAIZE (Grain)                      Planting date: 01/01                      Harvest: 05/05

Stage	initial	develop	mid	late	total
Length (days)	20	35	40	30	125
Kc Values	0.30	-->	1.20	0.35	
Rooting depth (m)	0.30	-->	1.00	1.00	
Critical depletion	0.55	-->	0.55	0.80	
Yield response f.	0.40	0.40	1.30	0.50	1.25
Cropheight (m)			2.00		

**CROP WATER REQUIREMENTS**

ETo station: Abala                                      Crop: MAIZE (Grain)

Rain station: Abala                                      Planting date: 01/01

Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
Jan	1	Init	0.30	1.22	12.2	0.5	11.7
Jan	2	Init	0.30	1.23	12.3	0.0	12.3
Jan	3	Deve	0.45	1.94	21.3	0.2	21.1
Feb	1	Deve	0.72	3.21	32.1	0.6	31.5
Feb	2	Deve	0.97	4.54	45.4	0.8	44.6
Feb	3	Mid	1.16	5.53	44.3	1.1	43.2
Mar	1	Mid	1.18	5.70	57.0	1.0	56.0
Mar	2	Mid	1.18	5.78	57.8	1.1	56.7
Mar	3	Mid	1.18	5.77	63.5	3.2	60.3
Apr	1	Late	1.14	5.56	55.6	6.0	49.6
Apr	2	Late	0.89	4.33	43.3	8.1	35.3
Apr	3	Late	0.61	3.16	31.6	7.8	23.7
May	1	Late	0.41	2.20	11.0	3.7	7.2
					487.4	34.1	453.3

**CROP WATER REQUIREMENTS**

ETo station: Abala  
Rain station: Abala

Crop: MAIZE (Grain)  
Planting date: 05/05

Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
May	1	Init	0.30	1.63	9.8	4.5	6.0
May	2	Init	0.30	1.71	17.1	7.6	9.5
May	3	Deve	0.36	2.08	22.9	6.9	16.1
Jun	1	Deve	0.62	3.58	35.8	3.5	32.3
Jun	2	Deve	0.87	5.09	50.9	1.6	49.3
Jun	3	Mid	1.12	6.01	60.1	11.1	49.0
Jul	1	Mid	1.19	5.71	57.1	23.8	33.3
Jul	2	Mid	1.19	5.15	51.5	33.0	18.5
Jul	3	Mid	1.19	5.15	56.7	32.9	23.8
Aug	1	Late	1.18	5.12	51.2	34.8	16.4
Aug	2	Late	0.95	4.12	41.2	37.2	4.0
Aug	3	Late	0.66	2.85	31.4	26.1	5.3
Sep	1	Late	0.42	1.83	11.0	6.5	5.5
					496.7	229.4	269.1

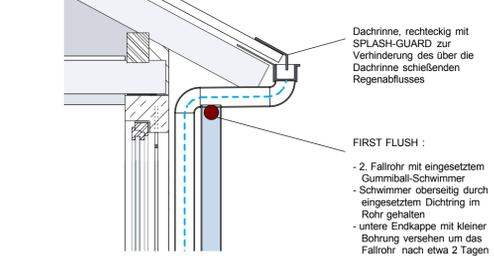
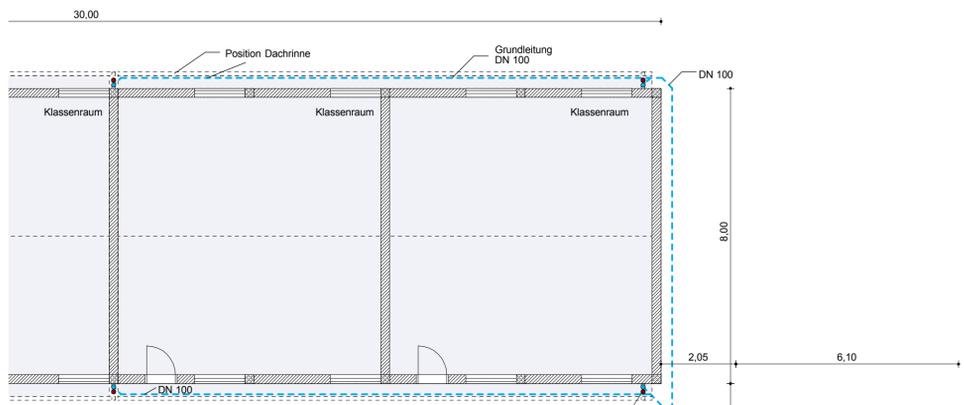
**CROP WATER REQUIREMENTS**

ETo station: Abala  
Rain station: Abala

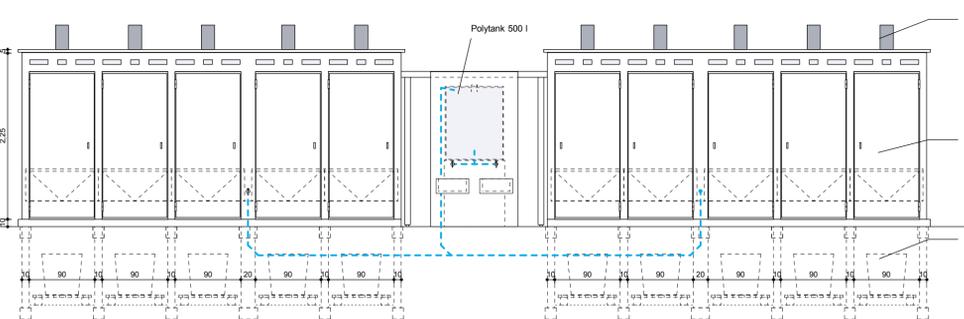
Crop: MAIZE (Grain)  
Planting date: 06/09

Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
Sep	1	Init	0.30	1.30	6.5	5.4	1.1
Sep	2	Init	0.30	1.31	13.1	0.0	13.1
Sep	3	Deve	0.34	1.46	14.6	1.4	13.2
Oct	1	Deve	0.56	2.41	24.1	4.4	19.7
Oct	2	Deve	0.81	3.45	34.5	4.6	29.9
Oct	3	Mid	1.06	4.43	48.7	3.2	45.5
Nov	1	Mid	1.17	4.72	47.2	0.9	46.2
Nov	2	Mid	1.17	4.59	45.9	0.0	45.9
Nov	3	Mid	1.17	4.62	46.2	0.4	45.8
Dec	1	Late	1.16	4.64	46.4	1.7	44.7
Dec	2	Late	0.99	3.97	39.7	2.3	37.4
Dec	3	Late	0.70	2.84	31.3	1.6	29.7
Jan	1	Late	0.45	1.81	14.5	0.4	14.0
					412.6	26.4	386.2

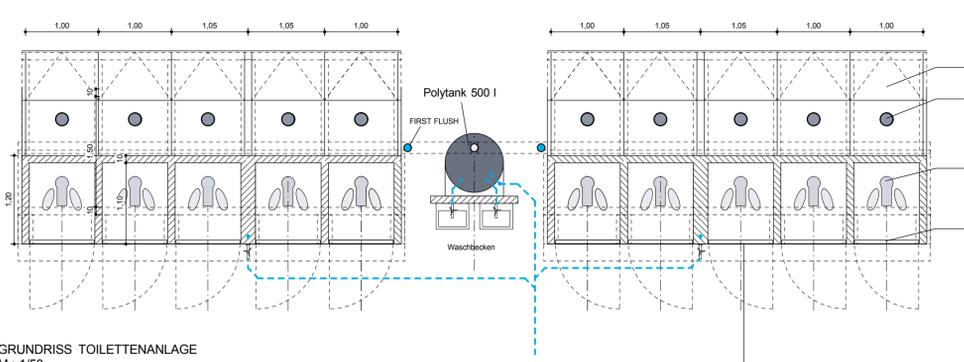
## Anhang 4 Konstruktionszeichnungen



DETAIL RINNE / FIRST FLUSH  
M.: 1/20



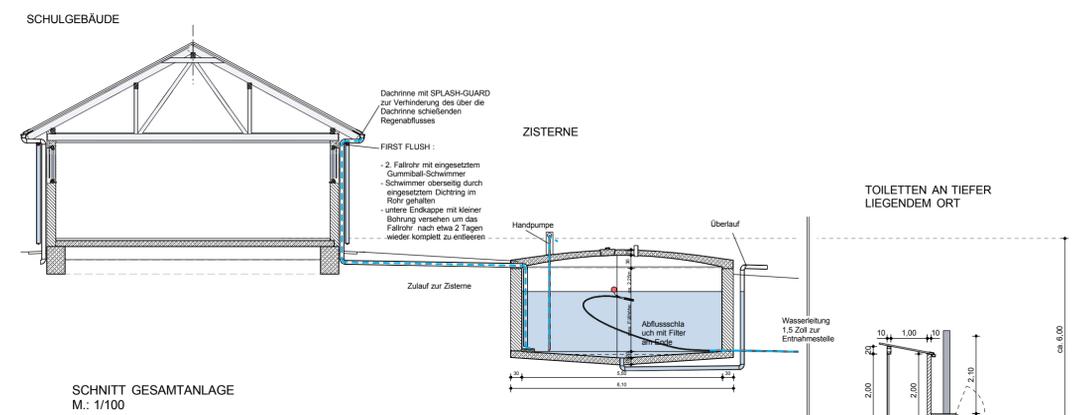
ANSICHT TOILETTENANLAGE  
M.: 1/50



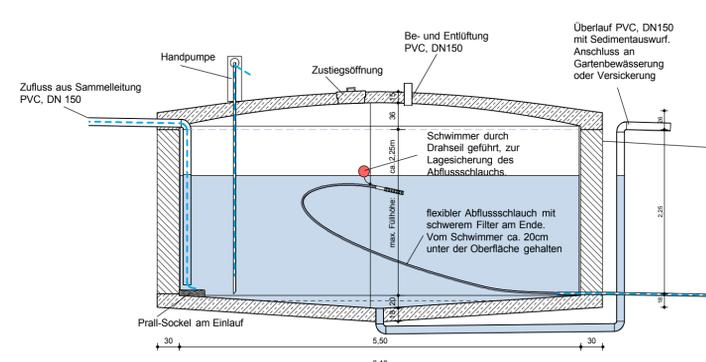
GRUNDRISS TOILETTENANLAGE  
M.: 1/50



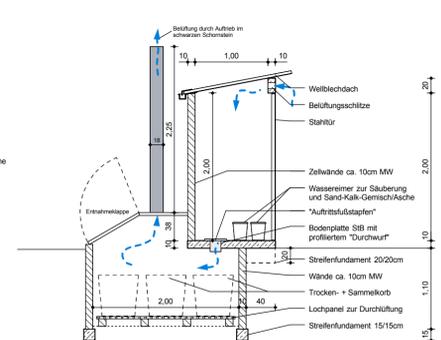
GRUNDRISS GESAMTANLAGE  
M.: 1/100



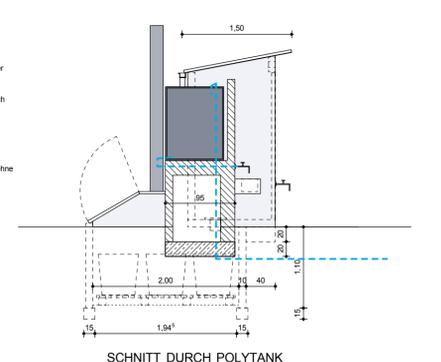
SCHNITT GESAMTANLAGE  
M.: 1/100



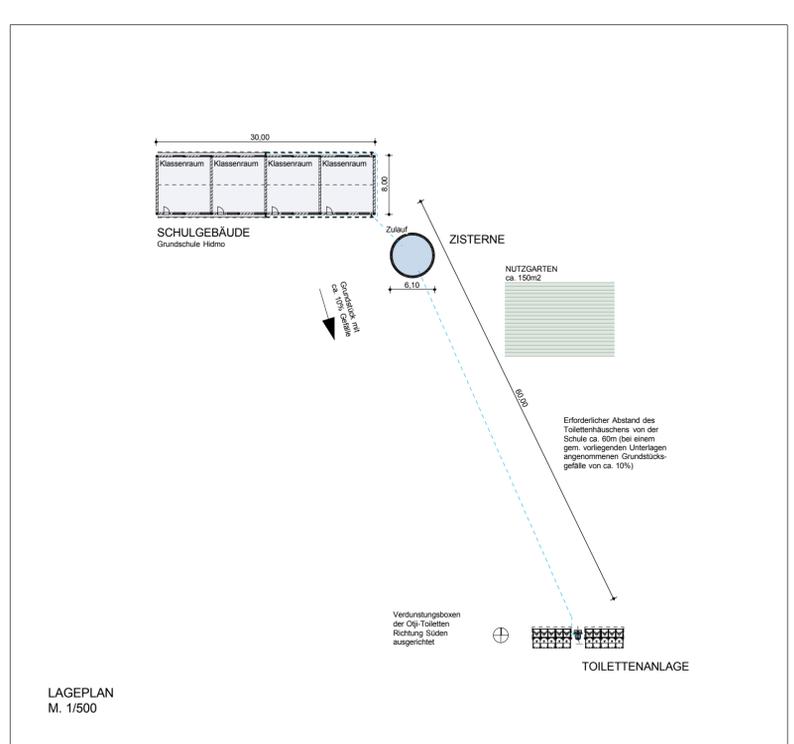
SCHNITT ZISTERNE  
M.: 1/50



SCHNITT DURCH TOILETTE  
M.: 1/50



SCHNITT DURCH POLYTANK  
M.: 1/50



LAGEPLAN  
M.: 1/500

- KONSTRUKTION ZISTERNE:**
- gewölbter Zistenedeckel, min. 15cm Stärke StB, gewichtsparendes Gewölbe geschält mittels Stütze, Radialen, Verstrebungen, Ringen aus Baustahl, Karabinendraht, alten Jute-Säcken. Im Randbereich in Druckbalken übergehend.
  - Wände Naturstein, gebrochen, aus ortsnahem Steinbruch, vollflügig schichtweise vermauert mit Zementmörtel. Direkt gegen das Erdreich gemauert.
  - Bodenplatte zum Mittelpunkt geneigt zur Integration des Überlaufanschlusses als Sedimentauswurf. Stahlbeton ca. 18cm
  - Abdichtung durch Zementputz 15mm
  - Hohlekehle min. r=30mm am Übergang Sohle Wand

PROJEKT	Wasser- und Sanitär-versorgung von Schulen und Gesundheitsstationen für exemplarische Fälle im ländlichen Raum Äthiopiens	
_index	_datum	_änderung
_titel	DIPLOMARBEIT	
_inhalt	Susanne Schultealbert Erphostraße 8 48145 Münster	
	VORENTWURF WASSERSPEICHER UND SANITÄRANLAGEN	
_erstellt	im Juli 2011	Anlage

## Anhang 5 Kostenschätzung

Diplomarbeit  
 Susanne Schultealbert, Erphostraße 8, 48145 Münster

## Kostenberechnung Zisterne, WC-Anlage und Leitungsnetz

Afrikanische Preise, Marktdaten aus 2009

### MENGENERMITTLUNG

	Einheit	Größe
<b>1.0 Basisdaten Zisterne</b>		
<b>Füllhöhe ohne Sedimentabscheidung</b>	<b>m</b>	<b>2,25</b>
<b>lichter Durchmesser</b>	<b>m</b>	<b>5,50</b>
<b>Kegeltiefe Sedimentabscheidung</b>	<b>m</b>	<b>0,20</b>
Grundfläche Wassersäule	m <sup>2</sup>	23,76
Volumen Sedimentabscheidung	m <sup>3</sup>	1,584
<b>max. Speichervolumen</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>55,044</b>
li Höhe oberhalb max. Füllhöhe,ca.	m	0,10
lichtes Volumen	m	55,84
<b>2.0 Daten Sohle</b>		
Stärke Sohlplatte	m	0,18
Fläche Sohlplatte	m <sup>2</sup>	29,22
Volumen Sohlplatte	m <sup>3</sup>	5,26
<b>3.0 Daten Wände</b>		
Wandstärke MW	m	0,30
Volumen MW	m <sup>3</sup>	12,83
<b>4.0 Daten gewölbte Deckenplatte</b>		
ca. Stärke gew. Zisternendecke	m	0,165
ca. Fläche gew. Zisternendecke	m <sup>2</sup>	29,22
Volumen gew. Zisternendecke	m <sup>3</sup>	4,821
<b>5.0 Aushub</b>		
Volumen Aushub Zisterne (Decke oberirdisch)	m <sup>3</sup>	75,511

## Wasser- und Sanitärversorgung von Schulen und Gesundheitsstationen für exemplarische Fälle im ändlichen Raum Äthiopiens

6.0 Betonmassen			
Volumen Betonsohle / -Decke	m3		10,081
benötigter Zement (Sack) Beton	St.		121
Zuschläge, gewaschen	m3		5,376
Sand, gewaschen	m3		2,688
7.0 Menge Mauerwerk			
Mörtel je m3 MW			14,70%
benötigter Zementmörtel	m3		1,886
Zement (25kg Sack) je m3 Mörtel	St.		12
benötigter Zement (Sack)	St.		23
benötigter Sand	m3		1,509
8.0 Menge Zementputz			
Fläche Zementputz, wasserdicht	m2		98,01
Stärke	mm		20
benötigter Zementmörtel	m3		1,960
benötigter Zement (Sack)	St.		24
benötigter Sand	m3		1,568
9.0 Massen Wasserführung			
Länge der Dachrinnen	m		72,00
Länge der Fallrohre	m		39,00
Länge der Grundleitungen zur Zisterne	m		50,00
Länge der Wasserleitungen ab Zisterne	m		69,00
durchschnittliche Tiefe Leitungsnetz	m		1,10
Aushub Leitungsnetz	m3		78,54

10.0 Toiletten		
Anzahl der Toiletten	St.	10
Dachfläche Toiletten	m2	15
Mauerwerk Toiletten	m3	15
Anzahl Ziegel	St	2640
Zementmörtel		1,96029461
benötigter Zementmörtel	m3	2,205
benötigter Zement (Sack)	St.	26
benötigter Sand	m3	1,764
Beton Toiletten	m3	3,000
benötigter Zement (Sack) Beton	St.	36
Zuschläge, gewaschen	m3	1,600
Sand, gewaschen	m3	0,800

## Wasser- und Sanitärversorgung von Schulen und Gesundheitsstationen für exemplarische Fälle im ändlichen Raum Äthiopiens

Aufgrund der größeren Bindung afrikanischer Staaten an den Dollar werden die Berechnungen in Dollar ausgeführt. Anschließend werden die Gesamtkosten in Euro und in äthiopischen Birr (Wechselkurs 1.7.2011) angegeben.

Vergleich zu Preisen  
Tansania 10/2010

TSH  
658\$/MioTSH

Wechselkurse:

Dollarkurs, durchschnittlich  
1,40\$/€  
Birr (Kurs 3/2009)  
88,28\$/TsdETB  
Birr (Kurs 1.7.2011)  
58,36\$/TsdETB

KOSTENAUFSTELLUNG						EP	GP	in Prozent der	
						inklusive Transport	Gesamtkosten		
<b>A Aushub</b>									
	Aushub Zisterne + Leitungsnetz	m3	455,000			65ETB	5,74 \$	2.610,95 \$	12,77%
<b>B Rohbaumaterialien</b>									
	Felssteine	m3	12,83	70.000TSH	5,76 \$	65ETB	5,74 \$	73,63 \$	0,36%
	Betonzuschlagsstoffe	m3	5,376	170.000TSH	13,98 \$	120ETB	10,59 \$	56,96 \$	0,28%
	Sand	m3	8,329	65.000TSH	5,35 \$	60ETB	5,30 \$	44,12 \$	0,22%
	Zement	Sack	230,000	14.000TSH	9,21 \$	59ETB	5,21 \$	1.198,35 \$	5,86%
	Ziegelsteine ca. 20/25/12,5	T-St.	2,640	42.500TSH	27,97 \$	320ETB	28,25 \$	74,58 \$	0,36%
<b>C Zubehör</b>									
	Holzpfähle	St.	16	3.500TSH	2,30 \$	40ETB	3,55 \$	56,85 \$	0,28%
	Kantholz 2"x6", 4m	St.	24	7.000TSH	4,61 \$	81ETB	7,11 \$	170,56 \$	0,83%
	Nägeln	kg	10	3.000TSH	1,97 \$	15ETB	1,32 \$	13,24 \$	0,06%
	Bindendraht	kg	10	3.000TSH	1,97 \$	25ETB	2,21 \$	22,07 \$	0,11%
	Maschendraht	kg	15				3,31 \$	49,66 \$	0,24%
	Folie	m2	29	675TSH	0,44 \$	5ETB	0,44 \$	12,80 \$	0,06%
	Rundstahl 16mm, 5m	St.	18	25.000TSH	16,45 \$	200ETB	17,66 \$	317,82 \$	1,55%
	Rundstahl 6mm, 5m	St.	294	10.000TSH	6,58 \$	80ETB	7,06 \$	2.076,40 \$	10,15%
<b>D Ausstattung</b>									
	Dachrinnen	m	72,00	47.200TSH	31,06 \$	350ETB	30,90 \$	2.224,71 \$	10,88%
	PVC-Rohre(inkl.1Bögen/5m)	m	89,00	9.800TSH	6,45 \$	75ETB	6,62 \$	589,28 \$	2,88%
	Wasserleitung 1,5"	m	69,00	4.750TSH	3,13 \$	40ETB	3,53 \$	243,66 \$	1,19%
	Handpumpe	St.	1		600,00 \$		600,00 \$	600,00 \$	2,93%
	PVC-Tank Toiletten, 500 l	St.	1,00	196.000TSH	128,97 \$	1.500ETB	132,42 \$	132,42 \$	0,65%
	Ausstattung Toiletten, pauschal	St.	10,00				150,00 \$	1.500,00 \$	7,34%
	Wellblech Toilettendach	m2	15				6,00 \$	90,00 \$	0,44%
	Türen	St.	10	140.000TSH	92,12 \$	1.000ETB	88,28 \$	882,82 \$	4,32%

Wasser- und Sanitärversorgung von Schulen und Gesundheitsstationen für exemplarische Fälle im ändlichen Raum Äthiopiens

E Lohnkosten							
Lohnkosten pauschal in % vom Material		10%		10.429,93 \$	1.042,99 \$		
Alternativ, geschätzt:							
1 Bauleitung	Mann/Wo	4		1.600ETB	141,25 \$	565,01 \$	2,76%
1 Vorarbeiter	Mann/Wo	4		800ETB	70,63 \$	282,50 \$	1,38%
4 Arbeiter	Mann/Wo	16		400ETB	35,31 \$	565,01 \$	2,76%
F Kosten Mobilität							
Mietwagen	Wo	4		7700	680,00 \$	2.720,00 \$	13,30%
Diesel (200km/Tag)	liter	448			1,40 \$	627,20 \$	3,07%
LKW (Kosten 4-fach PKW)	Wo	0,5		30800	2.719,09 \$	1.359,55 \$	6,65%
Diesel	liter	224			1,40 \$	313,60 \$	1,53%
G Sonstiges							
Puffer für unvorhergesehenes, Aufschlag		5%			19.473,75 \$	973,69 \$	4,76%

<b>GESAMTKOSTEN PROJEKT</b>	<b>20.447,44 \$</b>	<b>100,00%</b>
bzw. in ETB (Stand 1.7.2011)	<b>350.351 ETB</b>	
bzw. in EUR	<b>14.605,31 €</b>	

aufgestellt  
im Juli 2011